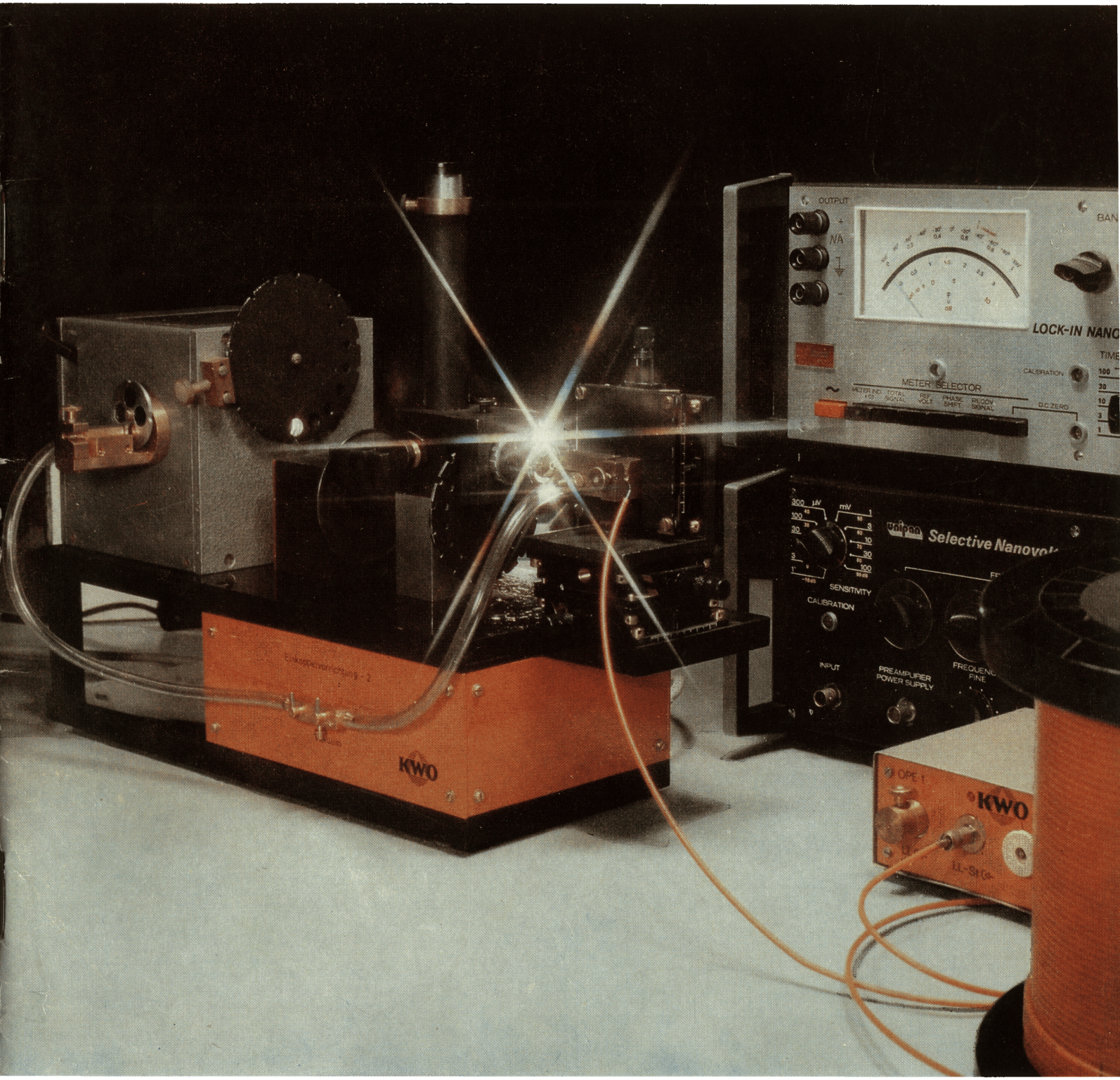
ELEKTRIE 8|84

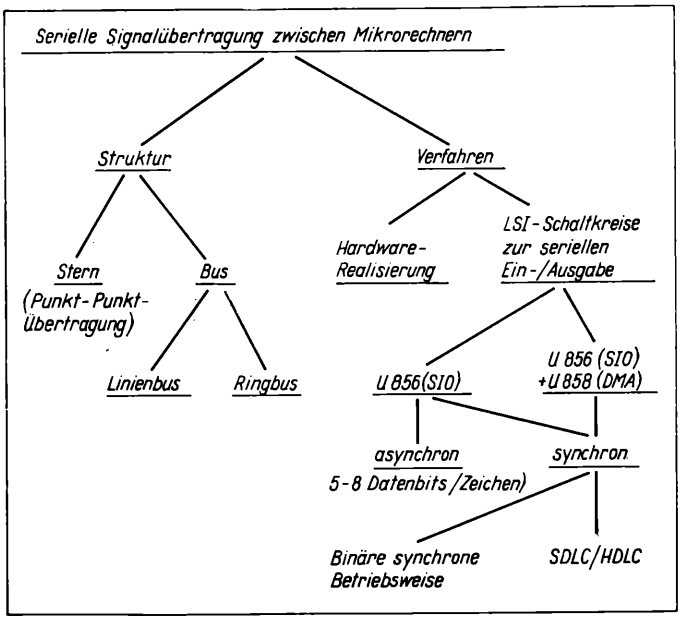
VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013–5399



KWO Lichtwellenleitertechnik

0120311

Bidirektionale Lichtleitsignalübertragung zwischen Mikrorechnern in Elektroenergieanlagen



Bilder 1 bis 3 aus dem Fachaufsatz von *D. Engelage, u.a.* auf den Seiten 290 bis 292

Bild 1. Zusammenstellung von seriellen Signalübertragungsverfahren zwischen Mikrorechnern

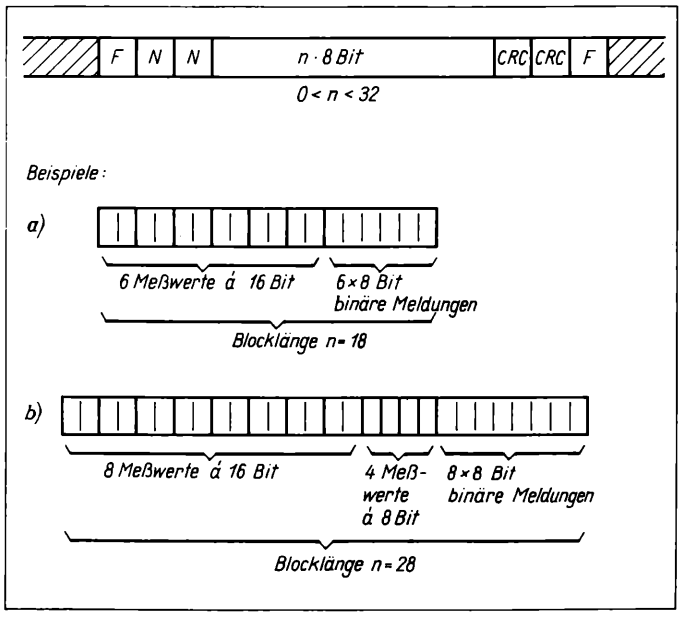


Bild 2. Blockstruktur der Informationsübertragung

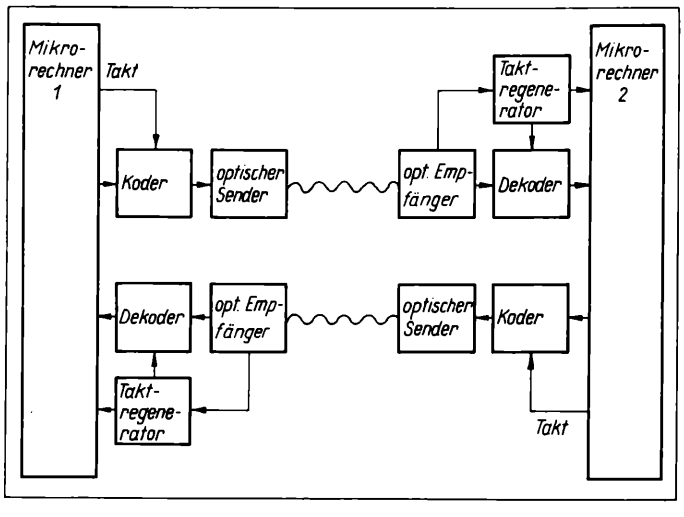


Bild 3. Struktur der zu übertragenden Blöcke

8|84 ELEKTRIE

38. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Plakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flü ge · Obering. K. Friedel · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden · Dipl.-Ing. W. Knuth, Berlin

Titelbild

Die Qualität von Lichtwellenleiterkabeln (LWK) wird durch reproduzierbare Messungen nach IEC-Empfehlungen im Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree (KWO) „Wilhem Pieck" gemessen.
Unser Bild zeigt eine Meßanordnung zur Bestimmung der Übertragungseigenschaften von Lichtwellenleitern. Die Einkoppelvorrichtung (optischer Sender) und der optische Empfänger (an der Trommel) sind Eigenentwicklungen des Kombinats.
Einen Beitrag zur Lichtleitsignalübertragung zwischen Mikrorechnern in Elektroenergieanlagen finden Sie auf den Seiten 290 bis 292 in diesem Heft.
Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Aus dem Inhalt

Seite

Aktuelle Information 282

Laux, R.
Zusammenarbeit UdSSR—DDR auf dem Gebiet der Erdungstechnik 283

Fachaufsätze

Valov, B. M.; Winkler, G.
Die Normierung der Elektroenergiequalität in der UdSSR 284

Krug, H.
Das Alarmsystem des Synchrozyklotrons im VIK Dubna (UdSSR) 286

Engelage, D.; Proske, D.; Klar, H.; Spangenberg, P.
Bidirektionale Lichtleitsignalübertragung zwischen Mikrorechnern in Elektroenergieanlagen 290

Döhler, A.; Nerger, D.
Einfluß der Erdung des Nulleiters an Spannbetonmasten auf die Fehlerspannung im Niederspannungsnetz 292

Schneider, K.-G.; Freytag, K.-H.
Quantitative Bestimmung des Schutzniveaus der Schutzmaßnahme Nullung in 220/380-V-Industrieanlagen 296

Schulz, W.
Berücksichtigung von Netzeinspeisungen bei Kurzschlußstromberechnungen 299

Franke, R.; Müller, R.; Rindfleisch, H.-J.
Verhalten von Transformatordurchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden bei Blitz- und Schaltspannungsbeanspruchungen 302

Bräsel, E.; Pyl, Th.
Untersuchungen zur gasanalytischen Transformatorendiagnostik 306

Küllig, P.; Petzold, I.
Zum elektrischen Langzeitverhalten von Polyethylen-Isolierungen bei Wechselspannungsbelastungen 309

Umschau

Kurzberichte 312

CIGRE 313

Fachtagungen 313

Zeitschriften 315

Bücher 317

AKTUELLE INFORMATION

Erdungsfragen in elektronischen Anlagen

IX. Fach- und Diskussionstagung

Zeit: 19. und 20. Dezember 1984
Ort: Gera, Bergarbeiter-Kulturhaus

Inhaltliche Schwerpunkte

— Vorstellung zur Veränderung des Aufbaues des Standardkomplexes TGL 200-0603
— Zur Arbeit mit den zulässigen Berührungsspannungen nach TGL 200-0602/03 und TGL 200-0603/03
— Ergebnisse der 8. Internationalen Erdungs- und Berührungsschutztagung Wroclaw (VR Polen) im September 1984
— Bedeutung der Erdung für elektronische Anlagen mit Nennspannungen bis 1000 V im Lichte internationaler Vorschriften, Erfahrungen, Hinweise und neue Erkenntnisse zur Einrichtung von Fundamenterdern nach TGL 33373
— Anwendung des Programmkomplexes VARZEM zur nichtäquipotentialen Berechnung der Parameter komplizierter Erdungsanlagen in inhomogenem Erdreich
— Thermische Dimensionierung von Erdungsleitungen, rationelle Ausführung von Erdungsleitungen und Erdungssammelleitungen in Transformatorenstationen
— Erdung von Überspannungsleitungen und Überspannungsableitern
— Projektdokumentationen für Erdungsanlagen

Anfragen

Kammer der Technik
Bezirksverband Gera
6500 Gera
Humboldt-Str. 13
M. Feydt, Dresden EA 1785

Tage der Wissenschaft und Technik an der Ingenieurhochschule Wismar

Die Sektion Technologie der Elektrotechnik/Elektronik veranstaltet 1984 eine Wissenschaftliche Konferenz zum Thema

Optoelektronische Sensorsysteme

Zeit: 11. bis 14. September 1984

Plenarvorträge

- Sensoren und intelligente Meßsysteme in der Automatisierungstechnik
- Technikwissenschaft und Technikgesetze — politische Herausforderung und Verantwortung des Ingenieurs
- Optische Informationsprozesse in Organismen

Optoelektronische Aufnehmer

— Optische Bildverarbeitung
— Technologische Möglichkeiten zur Herstellung und physikalische Grenzen von Silizium-Fotodioden
— Geometrische Untersuchungen an CCD-Zeilen
— Optoelektronische Meßanordnungen für Streu- und Störlichtuntersuchungen an optischen Bauelementen und Systemen
— Thermische Strahlungssensoren
— Lichtleiterkompatible Temperatursensoren unter besonderer Berücksichtigung der Ausnutzung von Lumineszenzerscheinungen
— Entwicklung intensitätsmodulierter Lichtleiterfasersensoren
— Erfassung und Übertragung von Biosignalen unter Verwendung von Lichtleiterverbindungen
— Infrarot-Freiraumdatenübertragung
— Lichtleiterkompatible Reflex-Lichtschranke
— Szenengestaltung für die automatische Binärbilderkennung mit Hilfe von CCD-Zeilenkameras
— Dunkelstrommessung mit tieffrequenten Intensitätsschwankungen zur Beurteilung verschiedener Phasen bei der Photosynthese
— Shading-Korrektur bei der Bildaufnahme
— Optoelektronischer Impulsgeber zur Drehzahlerfassung
— Optisch berührungslose Antastung mit Hilfe von Fokussierverfahren

Signalverarbeitung

— Prinzipien und Strukturen der digitalen Signalverarbeitung
— Entwurfsplan zur digitalen Filterung und Klassifikation auf der Grundlage des BC 5120
— Programmiertechnik für Signalprozessoren
— Simulation eines Signalprozessors auf dem Mikrorechner K 1520
— Anwendung von Signalprozessoren in der Signalanalyse
— Messungen an einem Signalprozessor
— Spezialprozessoren für die Bildverarbeitung
— A Method for the Fault Diagnostic and Analog Circuits
— Ein Mikroprozessor-Algorithmus für impulsbreiten-modulierte Steuerungen
— Schnelle Datenvorverarbeitung für den one-line-Einsatz von visuellen Sensorsystemen zur Qualitätsprüfung
— Die Anwendung eines allgemeinen Mustererkennungsprogramms zur Auswertung zweidimensionaler Vorlagen
— Videosignalverarbeitung zur schnellen Binärbildgewinnung
— Mehrrechnersystem auf Basis K 1520
— Zahlentheoretische Transformationen
— Anwendung der Fermattransformation bei der schnellen Signalverarbeitung

Anwendung optoelektronischer Sensorsysteme

— Visuelle Sensorsysteme und ihr Einsatz für industrielle Prüfprozesse
— Das modulare optoelektronische Erkennungssystem IBS 2 — Hard- und Softwarekomponenten
— Moderne Konzeption für ein schnelles Sensorsystem zum Einsatz in der visuellen Qualitätskontrolle
— Ein modulares hardwareorientiertes Bildverarbeitungssystem für den Echtzeitbetrieb bei industriellem Einsatz
— Prüfung einfacher Muster über deren Binärbild
— Probleme der Komparatoreinstellung für teach-in-Programmierung von visuellen Sensorsystemen
— Elektronisches Bildauswertegerät Densitron 4
— Probleme der Rasterpositionierung für visuelle Sensorsysteme in Qualitätsprüfanlagen
— Fehlerparameter bei der visuellen Prüfung von Schnittholzoberflächen
— Einsatz von CCD-Linearsensoren in der Lichtleiter-Meßtechnik
— Bilderkennungssysteme für die Chip-und Drahtmontage von Halbleiterbauelementen
— Optoelektronischer Sensor zur Verschleißüberwachung an Drehwerkzeugen
— Optoelektronischer Sternsensor zur automatischen Pointierung astronomischer Teleskope
— Zeilenkameras des VEB Studiotechnik und ihre Einsatzmöglichkeiten
— Optimales Erkennungssystem für Oberflächenbewertung
— Erfahrungen beim Einsatz von CCD-Zeilensensoren in der Längenmeßtechnik
— CCD-Kamera-Interface für K 1520 und Applikation in der Längenmeßtechnik
— Präzisionslängenmessung mit Hilfe von CCD-Zeilen
— Optoelektronische Sensoreinheit für hochauflösende Schattenkantenerkennung
— Anwendung der Sensorzeile L 110 C in einem Positionsmeßsystem
— Der Einsatz der CCD-Zeile L 133 C für Zweikoordinatenmessungen
— Schlaglängenmessung von Verseilgut mit einer CCD-Kamera
— Optoelektronisches Lasergeradheitsmeßsystem
— Optoelektronische Lage- bzw. Winkelgeber

Die Sektion Technologie der Elektrotechnik/Elektronik veranstaltet **1985** eine Wissenschaftliche Konferenz zum Thema

Steigerung der Effektivität von Elektroenergieanlagen und automatischen Prozessen.

Die Konferenz wird in folgenden Vortragssektionen durchgeführt:

A Modellierung, Simulation und Bemessung von Elektroenergieanlagen unter Berücksichtigung stochastischer Einflußgrößen
B Automatisierung technologischer Prozesse unter Berücksichtigung stochastischer Einflußgrößen
C Betriebsverhalten und Zuverlässigkeit elektrischer Maschinen und Antriebe.

Es ist beabsichtigt, über neue Arbeitsrichtungen, Forschungsergebnisse und deren Anwendung zu informieren und mit einem breiten Kreis von Fachkollegen aus der Industrie sowie aus wissenschaftlichen Institutionen und Hochschulen unter Einbeziehung ausländischer Partner zu diskutieren. Im Vordergrund stehen dabei rationelle Untersuchungsmethoden und Bemessungsverfahren für Elektroenergie- und Automatisierungsanlagen unter Berücksichtigung stochastischer Aspekte zur Verbesserung der Material- und Energieökonomie.

Anfragen

Ingenieurhochschule Wismar
Tagungsbüro
DDR-2400 Wismar
Philipp-Müller-Straße
D. Schmidt, Wismar EA 1786

Zusammenarbeit UdSSR – DDR auf dem Gebiet der Erdungstechnik

Von
Ing. Rudolf Laux
Leiter Güteprüfung im VEB Starkstrom-Anlagenbau Leipzig—Halle, Bereich Karl-Marx-Stadt und Mitglied des FUA 1.15 der KDT Erdung elektrotechnischer Anlagen.

Erste Kontakte mit dem Forschungsinstitut für Energetik (SibNIIE)

Auf 10 Jahre erfolgreicher Zusammenarbeit können Erdungsfachleute aus der DDR und der UdSSR zurückblicken.

Im Jahre 1974 erfolgten die ersten Kontakte zwischen dem Institut für Energieversorgung Dresden und dem sibirischen Forschungsinstitut für Energetik (SibNIIE) in Novosibirsk.

Seitdem wurde die Zusammenarbeit auf der Grundlage von Verträgen systematisch entwickelt und umfaßt heute spezielle Teilgebiete, wie Rechnerprogramme für Erdungsanlagen, Nutzung natürlicher Erder, Minderung von Korrosionsschäden an Erdern, Einfluß von Erdungs- und Berührungsspannungen auf die Gefährdungswahrscheinlichkeit, elektromagnetische Beeinflussung durch Erdungsanlagen sowie Fragen der fachspezifischen Standardisierung.

Gemeinsame Erarbeitung von Arbeitsunterlagen

Auf der Grundlage von vertraglichen Vereinbarungen werden gegenseitige Leistungen erbracht, die den jeweiligen Wünschen und Erfordernissen des einen sowie den Erfahrungen und Möglichkeiten des anderen Partners entsprechen. So wurde im Jahre 1982 für den sowjetischen Partner eine Richtlinie über die Nutzung natürlicher Erder erarbeitet. Im Zuge der Übergabe wurde der Inhalt der Richtlinie vor einem Kreis sowjetischer Fachspezialisten in Leningrad erfolgreich verteidigt. Durch die umfassende Nutzung natürlicher Erder können beachtliche Einsparungen infolge Wegfalls künstlicher Erdungsanlagen erreicht werden.

Die Erfahrungen der DDR beim Einsatz von Fundamenterdern wurden auch bei der Erarbeitung der nach erfolgreicher Erprobung des Fundamenterdereinsatzes beim Aufbau mehrerer großer Industriebetriebe, darunter des KAMAS- und des Atommaš-Werkes, durch Gosstroi der UdSSR im Jahre 1981 zur generellen Anwendung freigegebenen sowjetischen Richtlinien zum Fundamenterdereinsatz im Industriebau genutzt.

Im Jahre 1983 übergaben Mitarbeiter des SibNIIE ein für die DDR erarbeitetes Rechnerprogramm, das besonders die schnelle und umfassende Berechnung großer und komplizierter Erdungsanlagen ermöglicht.

Unter Leitung von Dr.-Ing. Feydt, Institut für Energieversorgung Dresden, ist die Arbeitsgruppe 3 des FUA 1.15 der KDT „Erdung elektrotechnischer Anlagen" an der Erfüllung der Verträge und der technisch-wissenschaftlichen Zusammenarbeit aktiv beteiligt.

In regelmäßigen Konsultationen, die in der DDR und in der UdSSR stattfinden, erfolgen die erforderlichen Abstimmungen für die laufenden Verträge sowie die Vorbereitungen für neue Aufgaben.

Fruchtbarer Erfahrungsaustausch

Gut bewährt haben sich Seminare, in denen Fachspezialisten aus beiden Ländern über Erkenntnisse, Erfahrungen und neue Arbeiten berichten.

Dieser Erfahrungsaustausch über die Lösung gleichgearteter Probleme an weit voneinander entfernten Orten sowie unter den verschiedensten Bedingungen hat sich für beide Seiten als außerordentlich fruchtbar erwiesen. Er trägt wesentlich zur beschleunigten Lösung aktueller, technisch-ökonomischer Aufgaben bei.

Wenn man bedenkt, daß vom SibNIIE Novosibirsk das gesamte Gebiet vom Ural bis nach Mittelasien und nach Kamčatka betreut wird, ahnt man vielleicht, welche Fülle von Problemen dabei zu lösen ist und welche Erfahrungen sich dabei ergeben. Da gibt es Gebiete ewigen Frostes mit derart hohen spezifischen Bodenwiderständen, daß Fehlerströme kaum über Erder, sondern im wesentlichen nur über natürliche Erdungsleitungen fließen können. In anderen Landesteilen herrschen Sandböden mit ebenfalls sehr hohen spezifischen Bodenwiderständen vor. In dem vom SibNIIE betreuten Territorium gibt es so viele verschiedene Bodenarten mit unterschiedlichem Einfluß auf die Korrosion erdverlegter metallener Systeme, daß dafür spezielle Karten angefertigt wurden, die man bei der Dimensionierung von Erdungsanlagen bestimmter Lebensdauer berücksichtigt.

Durch die Zusammenarbeit der beiden Institute wird das gemeinsame Begriffs- und Sachverständnis als Grundvoraussetzung für die Lösung gemeinsamer Probleme — vor allem auch von Standardisierungsaufgaben im RGW — gefördert. Einen besonderen Beitrag leistet Dr. Zelebrovski vom SibNIIE Novosibirsk, der maßgeblich an den zu lösenden Aufgaben beteiligt ist und u.a. an einer mehrsprachigen Zusammenstellung von Begriffen der Erdungstechnik arbeitet. Die Beratungen und Seminare finden in freundschaftlicher Atmosphäre und in der Regel ohne Dolmetscher statt — eine wirksame Methode zur Beseitigung sprachlicher Lücken.

Einen Bericht von der letzten planmäßigen Konsultation, die im Oktober 1983 in Baku stattfand, können Sie auf S. 314 lesen.

•

Die Reihe der guten Beispiele erfolgreicher Zusammenarbeit zwischen Fachleuten der UdSSR und der DDR ließe sich sicher beliebig fortsetzen. Einiges davon dokumentieren die Beiträge in diesem Heft.

Der Beitrag auf S. 284—286 behandelt Probleme der „Normierung der Elektroenergiequalität in der UdSSR" und wurde gemeinsam verfaßt von Dr. B. Valov vom Tomsker Polytechnischen Institut und Dr. G. Winkler von der Technischen Universität Dresden.

Während der Tätigkeit von Dr. H. Krug, TU Dresden, in den Vereinigten Instituten für Kernforschung in Dubna entstand der Beitrag auf S. 286—290 zum „Alarmsystem des Synchrozyklotrons im VIK Dubna (UdSSR)".

Zunehmend wichtiger in der Zusammenarbeit zwischen unseren beiden Ländern werden die gemeinsamen Standardisierungsarbeiten und Abstimmungen der nationalen Standards GOST und TGL. Mehr dazu erfahren Sie im Beitrag von H. Kloust auf S. 312.

Red. EA 1760

Die Normierung der Elektroenergiequalität in der UdSSR

B. M. Valov, Tomsk (UdSSR); G. Winkler, KDT, Dresden

Zur Bewertung der Elektroenergiequalität sind seit langem Festlegungen zu Grenzwerten der Qualitätsfaktoren Frequenzabweichung sowie Spannungsabweichung und Leistungsfaktor für den Anschlußpunkt von Abnehmern in den nationalen Vorschriften getroffen worden. In den letzten Jahren haben die Qualitätsfaktoren Spannungsschwankung, Spannungsklirrfaktor und Spannungsunsymmetrie durch den Einsatz von Elektroenergieumwandlungsanlagen mit nichtlinearem Verhalten, unsymmetrischer und stark wechselnder Belastung an Bedeutung gewonnen. Die dadurch verursachte Verminderung der Elektroenergiequalität wurde vordergründig mit der damit verbundenen möglichen Störwirkung auf vor-, neben- und nachgelagerte elektrotechnische und elektronische Anlagen im Rahmen der „Elektromagnetischen Verträglichkeit" gesehen. Festgelegte Grenzwerte für die Qualitätsfaktoren gehen deshalb von der zulässigen Störwirkung aus. Es ist nachzuweisen, daß bei verminderter Elektroenergiequalität, z. B. durch Ströme der Gegen- und Nullkomponente der Grundharmonischen und durch Ströme der höheren Harmonischen, zusätzliche Verluste in den Betriebsmitteln der Elektroenergieumwandlung und -fortleitung entstehen, für deren ökonomische Bewertung Verfahren vorgeschlagen wurden, die über den „echten Leistungsfaktor" eine Einordnung in die nationale Tarifstruktur ermöglichen [1] [2].
Auch die Qualität der Produktion in allen Wirtschaftszweigen wird im bestimmten Maße durch die Elektroenergiequalität beeinflußt. In der UdSSR sind vielfältige Untersuchungen durchgeführt worden, die eine Quantifizierung des Schadens bei verminderter Elektroenergiequalität zum Inhalt haben. Die zulässigen Werte der Qualitätsfaktoren werden damit auch stärker von der ökonomischen Aufgabenstellung bestimmt. Die Schadensgröße infolge der Verminderung der Elektroenergiequalität stellt künftig ein entscheidendes ökonomisches Kriterium dar [3].
Die genannten Auswirkungen führten dazu, daß 1967 in der UdSSR Normen zur Elektroenergie mit GOST 13109-67 erlassen wurden. Ihre veränderte Neuausgabe wurde 1979 bestätigt [4].

1. Ökonomische Bewertung der Elektroenergiequalität

Die Analyse des Schadens durch verminderte Elektroenergiequalität hat ergeben, daß im Energiesystem, beim Abnehmer und in der Volkswirtschaft die erzwungene Änderung der Betriebsweise und wertverminderte Produktion die entscheidende Schadensursache ist [5]. Die Nichterfüllung der vorgegebenen Funktion hat dagegen nur einen kleinen Einfluß. Bei der Ermittlung des gesellschaftlichen Aufwandes ist es üblich, nur die Schadenskosten durch Störungen im Elektroenergiesystem einzubeziehen. Es ist naheliegend, die Schadenskosten bei verminderter Elektroenergiequalität, zumindest die durch die Spannungsabweichung hervorgerufenen, in die Kostenoptimierung aufzunehmen [6]. Es sind auch die Schadenskosten zu berechnen, die infolge von Spannungsschwankung, -klirrfaktor und -unsymmetrie entstehen. Grundsätzlich sind zwei Schadensbestandteile zu unterscheiden. Der elektromagnetische Schaden enthält die genannten zusätzlichen Verluste und die mögliche Verminderung der Lebensdauer der Isolierung der elektrotechnischen Betriebsmittel. Bei Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte der Qualitätsfaktoren werden keine Störwirkungen zu erwarten sein. Die auftretende Erhöhung der Verluste und die Verminderung der Lebensdauer werden nicht bewußt wahrgenommen, weil sie keine havarieähnlichen Situationen im Elektroenergiesystem bedingen. Der technologische Schaden, der sich in der Produktion auswirkt, ist in den einzelnen Industriebetrieben und Prozessen quantifizierbar.
Die Schadenskostenfunktion des elektromagnetischen Schadens wird mit einer Potenzreihe dargestellt. Das ist gerechtfertigt, da die Verlustleistung durch das Quadrat der Komponenten der Spannungsharmonischen bestimmt wird und die Verminderung der Lebensdauer der Isolierung als Ergebnis der Erwärmung durch eine Potenzfunktion beschrieben werden kann. Es genügt, die Potenzreihe bis zum 3. Glied in einem Elektroenergiesystem mit i Knotenpunkten mit jeweils j Betriebsmitteln zu entwickeln.
Schadenskostenfunktion der Spannungsschwankung:

$$K_i(\Delta u') = \sum_{j=1}^{n} \sum_{q=1}^{3} \alpha_{jq} [\Delta u_j'(g)]^q \approx 0{,}5\ \mathrm{m}^3 \qquad (1)$$

m Modulationstiefe bei regelmäßigen Änderungen.
Schadenskostenfunktion der diskreten Spannungsklirrfaktoren:

$$K_i(k^{U(\nu)}) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{\nu=2}^{25} \sum_{q=1}^{3} \beta_{j\nu q} [k_j^{U(\nu)}(g)]^q \qquad (2)$$

Schadenskostenfunktion der Spannungsunsymmetrie:

$$K_i(a^U) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{q=1}^{3} \gamma_{jq} [a_j^U(g)]^q \qquad (3)$$

α, β, γ spezifische Schadenskosten

$\Delta u'$, $k^{U(\nu)}$, a^U Qualitätsfaktoren nach Tafel 1, wobei g alle diejenigen Parameter enthält, die Einfluß auf den je weiligen Qualitätsfaktor nehmen.

Für die Qualitätsfaktoren werden oftmals bei veränderten spezifischen Schadenskosten die Effektivwerte der ihnen zugrunde liegenden Spannungen eingeführt.
Die Gesamtschadenssumme durch verminderte Elektroenergiequalität ergibt sich in einem Elektroenergiesystem:

$$K = \sum_{i=1}^{m} [K_i(\Delta u') + K_i(k^{U(\nu)}) + K_i(a^U)]. \qquad (4)$$

Werden die Schadenskosten durch die Spannungsabweichung einbezogen, die in gleicher Weise mit den entsprechenden spezifischen Schadenskosten nach Gl. (1) zu ermitteln sind, so betragen in den Hüttenwerken, im Maschinenbau, in der chemischen Industrie und in den Papierfabriken der UdSSR die Schadenskosten durch Spannungsabweichung, -schwankung, -oberschwingungen und -unsymmetrie jährlich einige 100000 Rubel. Die einzelnen bezogenen Schadenskosten erscheinen relativ gering und hängen wesentlich von der Netzstruktur, Abnehmerstruktur und -charakteristik sowie der Betriebsweise ab. Beispielsweise betragen die bezogenen Schadenskosten für 1 % Unsymmetrie 500 bis 2000 Rubel [7]. Das weist die Notwendigkeit aus, die Grenzwerte der Qualitätsfaktoren auch nach ökonomischen Grundsätzen zu bewerten.

2. Qualitätsmerkmale und ihr Geltungsbereich

Mit der Festlegung von Normen zur Elektroenergiequalität in der UdSSR im Jahre 1967 wurde erstmalig ein durchgängiger, einheitlicher Standard zur Elektroenergiequalität geschaffen, der mit der Fixierung von zulässigen Werten für die Qualitätsfaktoren eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5% zugrunde legt. Seit dieser Zeit konnten viele Erfahrungen bei der Einführung in der Praxis gesammelt und umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt werden. In vier wissenschaftlichen Allunions-Konferenzen zur Elektroenergiequalität wurden zahlreiche Vorschläge zu einer Präzisierung des Standards unterbreitet und beraten. Auf der Grundlage dieser Vorschläge und Empfehlungen internationaler Gremien erfolgten 1968 und 1979 Änderungen des sowjetischen Standards. Diese umfassen die Normierung der Spannungsschwankungen, Organisationsprinzipien zur Sicherstellung der Überwachung, Festlegungen zur Meßdauer bei der Überwachung und Präzisierungen der zulässigen Werte.
Während in der DDR die Grenzwerte für die Qualitätsfaktoren an dem Verknüpfungspunkt[1]) gelten, der mit der Anschluß-, Abnahme- oder Übergabestelle nicht notwendig übereinstimmen muß, sind in der UdSSR die Festlegungen für die *Geräteklemme* getroffen worden, unabhängig, ob das im Niederspannungsnetz angeschlossene Gerät in Industriebetrieben, gesellschaftlichen Einrichtungen, Haushalten usw. eingesetzt wird.

Dr.-Ing. *Boris Michailovič Valov* ist Dozent am Tomsker Polytechnischen Institut, Fakultät für Elektroenergie. Dr. sc. techn. *Gert Winkler* ist Dozent an der Technischen Universität Dresden. Sektion Elektrotechnik.

[1]) Der Verknüpfungspunkt ist in Leistungsflußrichtung der letzte Knotenpunkt, von dem der betreffende Abnehmer und mindestens ein weiterer versorgt werden.

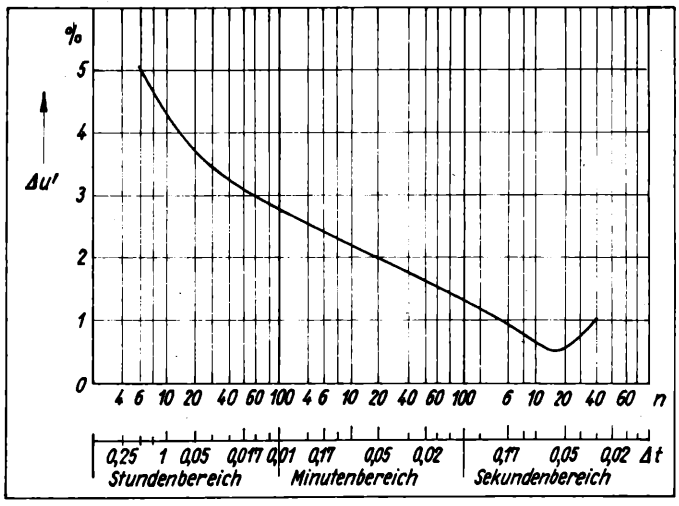


Bild 1. Grenzkennlinie für Spannungsschwankungen

Tafel 1. Qualitätsfaktoren der Spannung

	UdSSR GOST 13109-67	DDR Richtlinie
Δf	Frequenzabweichung	
$\Delta f'$	Frequenzschwankung	
ΔU	Spannungsabweichung	Spannungsabweichung
$\Delta u'$	Spannungsschwankung	Spannungsschwankung
δu		Spannungseinbruch
k^U	begrenzter Spannungsklirrfaktor	begrenzter Spannungsklirrfaktor
$k^{U(\nu)}$		diskrete Spannungsklirrfaktoren
a		Spannungsaugenblickswertabweichung
$a_2{}^U$	Gegenspannungsunsymmetrie	Gegenspannungsunsymmetrie
$a_0{}^U$	Nullspannungsunsymmetrie	Nullspannungsunsymmetrie
n^U		Spannungsverlagerung

Der gegenwärtige Standard enthält Normen zur Elektroenergiequalität für Abnehmer im Normal- und sogenannten Nachhavariezustand des Elektroenergiesystems, die mit 50-Hz-Wechselstrom oder Gleichstrom betrieben werden. Für aus beweglichen Spannungsquellen gespeiste Netze und Netze der Traktion sowie Netze mit Leistungen bis 1000 kW hat der Standard keine Gültigkeit.

Die zur Bewertung der Elektroenergiequalität in der UdSSR verwendeten Qualitätsfaktoren stimmen mit denen der DDR-Richtlinie in der Mehrzahl überein (Tafel 1) [4] [8]. Die Projektierungsbetriebe haben die Anwendung ökonomisch begründeter Einrichtungen und Maßnahmen vorzusehen, die die Normwerte der Elektroenergiequalität bei den Abnehmern sicherstellen. Abweichungen von diesen Werten sind in dreiseitigen Vereinbarungen zwischen der staatlichen Energieüberwachung, dem Energieversorgungsbetrieb und dem Abnehmer zu bestätigen.

3. Qualitätsfaktoren

In der UdSSR ist die zulässige *Spannungsabweichung* an den Geräteklemmen, differenziert für verschiedene Elektroenergieumwandlungsanlagen der Abnehmer, festgelegt. An den Klemmen der Motoren darf $\Delta U = (-5 \text{ bis } +10)\%$ betragen. Für alle übrigen Abnehmer, wobei besonders die Viehzuchtkomplexe und Geflügelfarmen hervorgehoben werden, ist an den Klemmen $\Delta U = (-5 \text{ bis } +5)\%$ zugelassen. In Betriebsräumen und gesellschaftlichen Einrichtungen ist für die Arbeitsbeleuchtung, wo hohe Sehaufgaben gefordert werden, sowie für Scheinwerferanlagen der Außenbeleuchtung an den Klemmen $\Delta U = (-2{,}5 \text{ bis } +5)\%$ einzuhalten. Im Nachhavariebetrieb wird eine zusätzliche Spannungsabweichung von 5% zugestanden. Ausnahmebestimmungen für Netze in Landwirtschaftsgebieten außer den vorgenannten landwirtschaftlichen Betrieben können bei technisch-ökonomischen Begründungen nur durch das Ministerium für Energetik und Elektrifizierung erlassen werden. In der DDR beträgt die unterste zulässige Spannungsabweichung unter Beachtung der möglichen Spannungsfälle in den Installationsleitungen, Steigleitungen und im Niederspannungsnetz an der letzten Anschlußstelle $\Delta U = (-7 \text{ bis } -8)\%$.

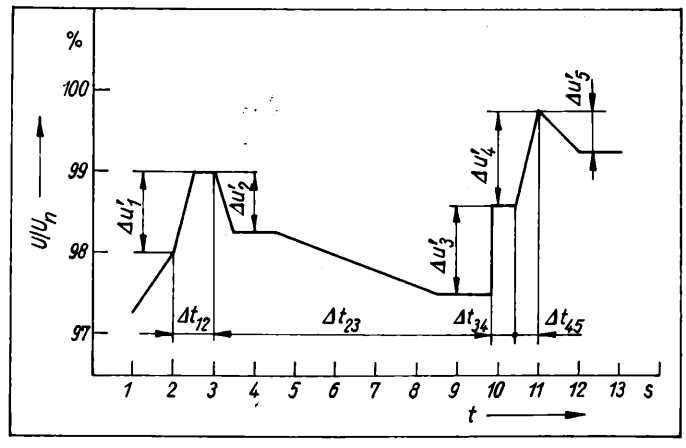
Eine der wichtigsten Präzisierungen des sowjetischen Standards ist die Normierung der *Spannungsschwankung* $\Delta u'$. Auf Grund von eigenen Untersuchungen und des Vergleiches mit anderen Ländern [9] wurde eine neue Flickerkennlinie (Amplituden-Frequenz-Kennlinie) in den Standard aufgenommen (Bild 1). Die Amplitude der Spannungsschwankung, die in der UdSSR mit Spannungsänderungsweite bezeichnet wird, ist die Differenz zwischen 2 folgenden Extremwerten der Hüllkurve der Spannungseffektivwerte. Im Gegensatz zu den Festlegungen in der DDR wird diese Kennlinie auch für unregelmäßige Änderungsfolgen angewendet. Deshalb wird neben der Frequenz der Spannungsschwankung auch das Zeitintervall Δt der folgenden Spannungsänderung auf der Abszisse der Flickerkurve angegeben (Bild 2). Der Spannungseinbruch ist in der UdSSR im Rahmen dieses Standards nicht normiert. Um häufiger auftretende Spannungseinbrüche zu erfassen, wurde daher die Flickerkurve bis zu 4 Änderungen je Minute nach unten erweitert.

Zur Bewertung der Sinusförmigkeit der Spannung wird ausschließlich der *Klirrfaktor* k^U angewendet. Weitere diesen noch stützende Faktoren sind gegenwärtig noch Gegenstand von weiteren Untersuchungen. Als Grenzwert sind 5% langzeitig an den Klemmen beliebiger Abnehmer zugelassen. Während in der DDR die Harmonischen bis zur Ordnungszahl $\nu = 25$ einzubeziehen sind, ist in der UdSSR keine derartige Begrenzung vorgesehen. Diese ist durch den

Tafel 2. Meßdauern für die Qualitätsfaktoren

Qualitätsfaktor	Mindestmeßdauer
Spannungsabweichung	
– Betriebe mit fünftägiger Arbeitswoche	≧ 1 Arbeitstag und 1 arbeitsfreier Tag
– Netzknotenpunkte	≧ 1 Arbeitstag und 1 arbeitsfreier Tag
– Betriebe mit durchgängiger Arbeitszeit	≧ 1 Tag
– alle anderen Fälle	≧ 2 Arbeitstage und 1 arbeitsfreier Tag
Spannungsschwankung, -Klirrfaktor, Frequenzschwankung	
– Netze mit Lichtbogen- und Stahlschmelzöfen	30 Minuten während der Einschmelzperiode
– Netze mit Lichtbogenöfen und Kontaktschweißanlagen	30 Minuten
– Netze mit Walzstraßen	10 bis 12 Walzzyklen
– Netze für Wohn- und Gesellschaftsgebäude	1 Stunde während der Zeit der größten Spannungsschwankung
– alle anderen Fälle	1 Tag
Spannungsunsymmetrie	
– Netze mit einphasig arbeitenden Elektroöfen	1 Stunde während der Zeit größter Belastung
– Netze mit einphasigen und schnell veränderlichen Belastungen	1 Stunde während der Zeit größter Belastung
– alle anderen Fälle	1 Tag

Bild 2. Definition der Zeitintervalle Δt zwischen nacheinander folgenden Spannungsänderungen



zulässigen Fehler bei der Berechnung des Klirrfaktors gegeben. Der *Gegenspannungsunsymmetriefaktor* a_2^U darf an den Klemmen 2 % nicht überschreiten. Diese Forderung gilt nicht für Abnehmer, die aus Umspannwerken des Wechselstrombahnbetriebes versorgt werden. In diesen Fällen sind Vereinbarungen zwischen den Abnehmern und dem Betreiber des Bahnumspannwerkes zu treffen. Mit Rücksicht auf die thermische Überbeanspruchung der Motoren sind in der DDR in derartigen Anlagen auf 1 % reduzierte Grenzwerte vorgesehen. Für den *Nullspannungsunsymmetriefaktor* a_0^U gilt, daß bei Einphasenabnehmern im Dreiphasensystem der zusätzliche Spannungsabfall im Rückleiter nur so groß sein darf, daß die zulässige Spannungsabweichung nicht überschritten wird.

4. Überwachung der Elektroenergiequalität

Die Überwachung der Elektroenergiequalität ist vom Energieversorgungsbetrieb und Abnehmer an der Rechtsträgergrenze durchzuführen. Diese Festlegung ist auf eine höhere Verantwortung beider Seiten bezüglich der Sicherstellung der Elektroenergiequalität gerichtet. Gegenwärtig werden in der UdSSR Dokumente vorbereitet, in denen die finanzielle Verantwortung beider Seiten bei Überschreitung der Qualitätsfaktoren geregelt wird. Ergänzt wurden im Standard Angaben über die Meßdauer der einzelnen Qualitätsfaktoren. Diese sind durch die verschiedenen Belastungsgänge der Abnehmer sehr differenziert. Nach dem Standard soll der zeitliche Verlauf der Qualitätsfaktoren wie ein Zufallsprozeß betrachtet und bewertet werden. Zur Ermittlung dessen statistischer Parameter und dessen Stationaritätsintervalle wurden viele experimentelle Arbeiten durchgeführt und umfangreiche Informationen gesammelt. Diese erlaubten über den spektralen [3] oder zeitlichen Verlauf [10] zur Beschreibung der Zufallsprozesse Meßdauern festzulegen und diese zu begründen (Tafel 2).

5. Schlußfolgerungen

Die Erarbeitung des Standards GOST 13109-67 ist der erste Schritt zur Durchsetzung einer den Anforderungen genügenden Elektroenergiequalität. Der zweite Schritt ist die Einführung in die Praxis. Dieser erfordert die Festlegung von Methoden für die Messung und Überwachung der Qualitätsfaktoren, die Fertigung der dazu notwendigen Meßeinrichtungen, die Schaffung von Betriebsanweisungen über die notwendige Ausstattung der Industrie- und Energieversorgungsbetriebe mit Meßeinrichtungen und die Festsetzung von Gebühren bei Qualitätsminderung. Im Rahmen der rationellen Energieanwendung sind Bewertungsmethoden für die technisch-ökonomische Effektivität bei einer Veränderung der Elektroenergiequalität auszuarbeiten.

Literatur

[1] *Drechsler, R.; Winkler, G.:* Die Einbeziehung der Versorgungsgüte in die Bestimmung der Verrechnungsleistung bei Großabnehmern. Energieanwendung 25 (1976) 12, S. 365 – 368

[2] *Drechsler, R.:* Měření, hodnocení a kvalita odběru elektrické energie v provozu tyristorových zařízení. Praha: Verlag SNTL/ALFA 1982

[3] *Konstantinov, B. A.;* u. a.: Sistema pokazatelej i normirovanije kačestva električeskoj energii. Električestvo (1978) 9, S. 11 – 19

[4] GOST 13109 – 67. Normy kačestva elektriceskoj energii u ee priëmnikov, prisoedinënnych k električeskim setjam obščego naznacenija

[5] *Konstantinov, B. A.; Schellenberg, H.:* Erhöhung der Effektivität der Energiewirtschaft und der Qualität der Energie. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1981

[6] *Wiederhold, G.:* Ein Verfahren zur zuverlässigkeitsorientierten Planung des stationären elektrischen Regimes. Energietechnik, Leipzig 32 (1982) 7, S. 243 – 247

[7] *Seselenko, J. W.;* u. a.: Kačestvo elektroenergii na promyšlennych nregprijatijach. Kiev: Verlag für Technik 1981

[8] Vorläufige Richtlinie „Elektroenergiequalität". Institut für Energieversorgung, Bericht Nr.: 74-1966-(1981) FE

[9] Begrenzung von Rückwirkungen in Stromversorgungsnetzen, die durch Elektrogeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke mit elektronischen Steuerungen verursacht werden. Bruxelles: CENELEC 1975, EN 50006

[10] *Valov, B. M.:* Vybor prodolpeitelnosti izmerii i intervalov diskretizacii pri kontrole pokazatelej kačestva elektroënergii. Prom. energetika (1982) 2, S. 29 – 32

EA 5397

Das Alarmsystem des Synchrozyklotrons im VIK Dubna (UdSSR)

H. Krug, Dresden

1. Einführung

Beschleuniger für geladene Elementarteilchen haben in der Kernphysik, aber auch in der Medizin, Biologie, Chemie und Werkstoffkunde viele Anwendungen gefunden. Mit dem Ziel, hohe Energien der Teilchen zu erreichen, haben sie das Ausmaß großer Industrieanlagen erreicht. Beschleuniger sind elektrische Geräte, die die Kraftwirkung elektrischer und magnetischer Felder auf Ladungen zur Beschleunigung von Elementarteilchen ausnutzen. Das Synchrozyklotron des VIK Dubna besteht aus folgenden Systemen:

1. Magnetfeld

Das zeitlich konstante und räumlich variable Magnetfeld dient dazu, die Teilchen auf einer stabilen spiralförmigen Bahn zu halten.

2. Vakuumsystem und Wasserkühlung

Die Beschleunigung der Teilchen erfolgt in einer Hochvakuumkammer.

3. Ionenquelle und Proben

Die Ionenquelle erzeugt und injiziert die zu beschleunigenden Teilchen im Zentrum der Vakuumkammer.

4. Hochfrequenzsystem

Das Hochfrequenzsystem erzeugt das zur Beschleunigung der Teilchen erforderliche hochfrequente elektrische Feld.

Vom Standpunkt der Automatisierungstechnik aus gesehen kann ein Beschleuniger als ein Vielparametersystem betrachtet werden. Die Strahlparameter werden durch eine große Zahl von Eingangsparametern (etwa 1000) von großer Vielfalt bestimmt. Es handelt sich um

- Analoge Signale (Ströme, Spannungen, Drücke, Temperaturen usw.)
- Binäre Signale (Hochvakuumschieber auf/zu, Druckabfall, keine Kühlung usw.)
- Impulssignale (Bogenspannung der Impulsquelle, Strahlintensität).

Als Meßwandler werden Shunts, Spannungsteiler, Thermoelemente, Widerstandsthermometer, Vakuummesser, Strahlstrommeßgeräte usw. verwendet.

Die Meßwerte liegen in folgenden großen Bereichen

- Spannungen: $10^{-3} \cdots 10^{2}$ V
- Quelleninnenwiderstand: $10^{-2} \cdots 10^{5}$
- Meßgenauigkeit: $10^{-2} \cdots 10^{-4}$.

Weiterhin sind große räumliche Abstände zwischen Meßwertgebern und der weiteren Signalverarbeitung (etwa 100 m) für dieses Automatisierungsobjekt charakteristisch.

Zwischen den Parametern bestehen komplizierte Zusammenhänge, so daß es schwierig ist, ein Optimum für die Strahlparameter zu finden. Neben der optimalen Steuerung des Beschleunigers, die nicht Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes ist, besteht die Notwendigkeit, alle Parameter laufend zu beobachten und Abweichungen von vorgegebenen Grenzwerten mitzuteilen. Damit können Havariesituationen verhindert bzw. rechtzeitig erkannt werden. Diese Aufgabe erfüllt das sogenannte Alarmsystem.

2. Aufgaben des Alarmsystems [1] [2]

Um Alarmsituationen erkennen zu können, müssen sämtliche Parameter ständig gemessen werden.

Mit den gewonnenen Meßwerten bestimmt das Alarmsystem fehlerhafte Zustände, analysiert die Ereignisse, bestimmt die Störungsquelle und hilft bei der Wiederherstellung des Zustands vor der

Dr. sc. techn. *Hans Krug* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der TU Dresden, Sektion Elektronik.

Die Arbeit entstand während der Tätigkeit des Autors im VIK Dubna.

Havarie. Um die Fehlersuche zu erleichtern, wird die Folge der fehlerhaften Zustände abgespeichert. Es wurde ein Zweistufenwarnsystem realisiert:

— Eine **Warnung** wird ausgegeben, wenn ein Parameter aus dem normalen Arbeitsbereich heraustritt.
— **Alarm** wird gegeben, wenn ein oder mehrere Parameter Grenzwerte überschreiten, die für den Betrieb des Beschleunigers gefährlich sind.

Bisher wurden folgende Funktionen des Alarmsystems verwirklicht:

1. Ausgabe von Warn- bzw. Alarminformationen (Parameter, Zeit, Quelle, Art) in Form von 2 Tabellen:
   — Dynamisches Alarmprotokoll
   Damit wird die zeitliche Entwicklung einer Situation dokumentiert.
   — Stationäres Alarmprotokoll
   Es stellt den Zustand des Gesamtsystems zu einem bestimmten Zeitpunkt dar.
   Die Informationsausgabe erfolgt über Display bzw. Schnelldrucker in bequemer und kompakter Textform.
2. Registrierung von Alarmereignissen und Untersuchung der Tendenz der Parameteränderung mit dem Ziel, das Entstehen einer Alarmsituation rechtzeitig zu erkennen.

In der Perspektive können noch folgende Funktionen realisiert werden:

1. Ausgabe eines Vorschlags zur Wiederherstellung des normalen Betriebszustandes an den Nutzer
2. Automatische Abschaltung bei Alarm
3. Anwendung eines selbstlernenden Systems zur automatischen Wiederherstellung des normalen Betriebszustandes.

3. Strukturauswahl

Die im Bild 1 dargestellte Struktur sichert die erforderliche Rechenleistung und Verarbeitungsgeschwindigkeit der Informationen. Es erwies sich als vorteilhaft, den Datenfluß zu teilen. Das Automatisierungssystem wurde in die eingangs genannten 4 Untersysteme aufgeteilt. Jeder der 4 Datenflüsse gelangt über Anpassungseinheiten (Verstärker, Sample-hold-Verstärker, Filter usw.) und CAMAC-Baugruppen in den zugeordneten Mikrorechner Elektronika-60. Jeder Mikrorechner ist über den CAMAC-controller mit dem CAMAC-system gekoppelt und besitzt selbst keine peripheren Geräte. Die Programme werden über ein serielles CAMAC-interface aus Datenträgern des übergeordneten Rechners geladen und gestartet. Die Rechner der Untersysteme steuern die CAMAC-Blöcke und übernehmen die Datenvorverarbeitung. Die gewonnenen Informationen werden über den Systemcrate an die Pultmaschine vom Typ MERA 6030 übertragen und dort weiterverarbeitet sowie mit den peripheren Geräten dieses Rechners zur Anzeige gebracht. Zur Sicherung der Rechenleistung für aufwendige Rechnungen sowie zur Bereitstellung einer Datenbank ist über den Kleinrechner KRS 4200 noch eine Rechenanlage EC 1040 angeschlossen. Die gewählte dezentrale Datenverarbeitung hat auch Vorteile bezüglich der Zuverlässigkeit des Steuerungssystems. Üblicherweise ist nur eine Ausfallzeit des Beschleunigers durch die Automatisierungseinrichtung von 1 ··· 3% der Gesamtausfallzeit des Beschleunigers zulässig.

4. HARDWARE im CAMAC-Standard [5]

Die Aufgabe der Datengewinnung und -übertragung in den Zentralrechner erfüllen folgende Standardbaugruppen des Laboratoriums für Kernprobleme des VIK Dubna [5]

1. Digitaluhr KW 004
   Mit der Digitaluhr wird das Lesen der Ereigniszeit ermöglicht.
2. Analog-Digital-Wandler KA 007
   Der genannte ADC formt analoge Parameter von 0 ··· 5 V in einer Zeit von $\leqq 40\,\mu s$ in 12-Bit-Wörter um.
3. Ausgaberegister KW 003
   Das Ausgaberegister dient zur programmgesteuerten Ausgabe von Steuerimpulsen zum Ansteuern anderer Hardwarebaugruppen (hier zum Start des ADC).
4. Meßstellenumschalter KA 003
   Der Meßstellenumschalter ist auf der Basis von Feldeffekttransistoren aufgebaut. Er ermöglicht die programmgesteuerte Umschaltung von maximal 32 geerdeten oder 16 differentiellen analogen Signalen auf den Wandler (Einschaltverzögerung $< 10\,\mu s$).

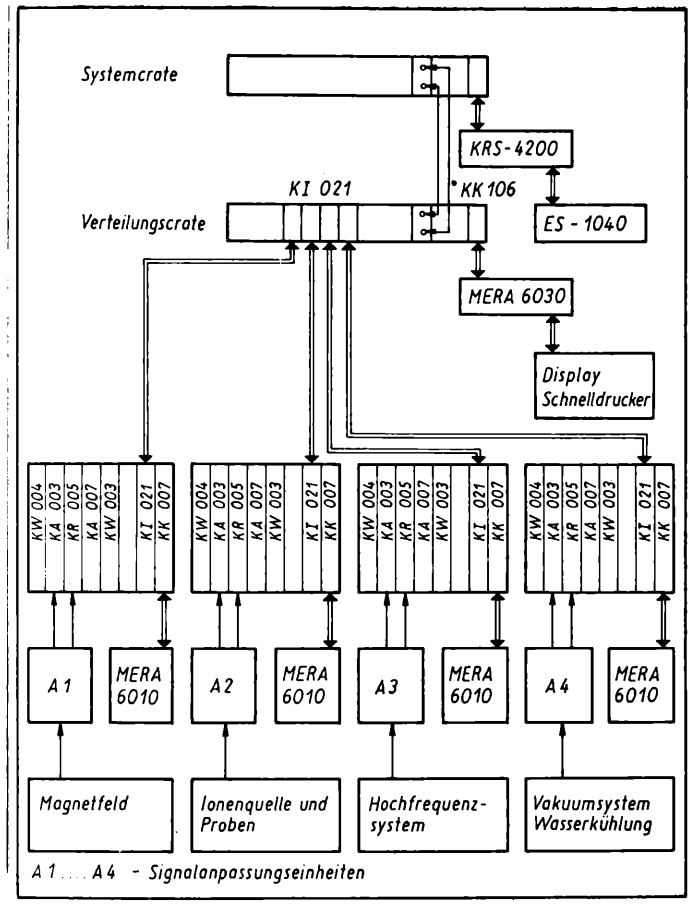


Bild 1. Struktur des Automatisierungssystems

5. Eingaberegister KR 005
   Mit dem Eingaberegister können 216-Bit-Wörter gelesen werden.
6. CAMAC-controller KK 007
7. Serielles Interface KI 007.

Das serielle Interface dient zum Aufbau des Rechnerverbundsystems. Diese Ausrüstung ist einheitlich in jedem Untersystem. Durch die Anzahl der zu kontrollierenden analogen und binären Signale wird die Anzahl der Meßstellenumschalter und Eingaberegister in jedem Untersystem bestimmt. Die Steuerung der genannten Blöcke, beispielsweise um den gewünschten Meßkanal anzuwählen oder den ADC zu starten, erfolgt mittels Programms durch den zugeordneten Mikrorechner.

5. Software eines Untersystems

5.1. Übersicht über die Programme eines Untersystems

Durch das Programm TRANSA werden Kommandos für den Dispatcher des Untersystems und Daten, die im Eingabespeicher DATAN gesammelt werden, übertragen. Um Rechenzeit und Speicherplatz einzusparen, werden im Untersystem nur Dualzahlen verarbeitet.

Folgende Kommandos für den Dispatcher sind bisher möglich:

— Das Kommando *A1* startet die ununterbrochene Kontrolle aller Parameter nach dem vorgegebenen Plan. Durch das Programm werden nur Änderungen des Zustands des Systems in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt und ausgegeben (Dynamische Tabelle).
— Das Kommando *A2* startet eine einmalige Überprüfung aller Parameter. Bestimmt und ausgegeben werden alle Parameter, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt außerhalb des normalen Arbeitsbereiches befinden (Statische Tabelle)
— Das Kommando *A3* startet ebenfalls eine einmalige Messung und Überprüfung aller Parameter und gibt z.B. zur Inbetriebnahme bzw. zur Bestimmung der Übertragungsfaktoren von analogen Signalen alle Resultate aus.
— Das Kommando *T* startet einen automatischen Test der CAMAC-Ausrüstung eines Untersystems. Ausgegeben wird eine Liste der ermittelten Fehler.

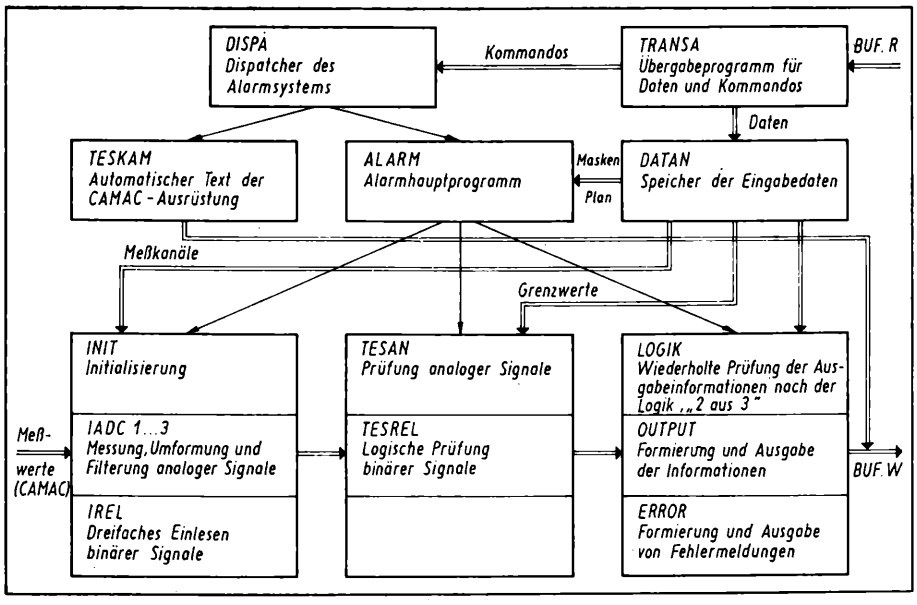


Bild 2. Software eines Untersystems

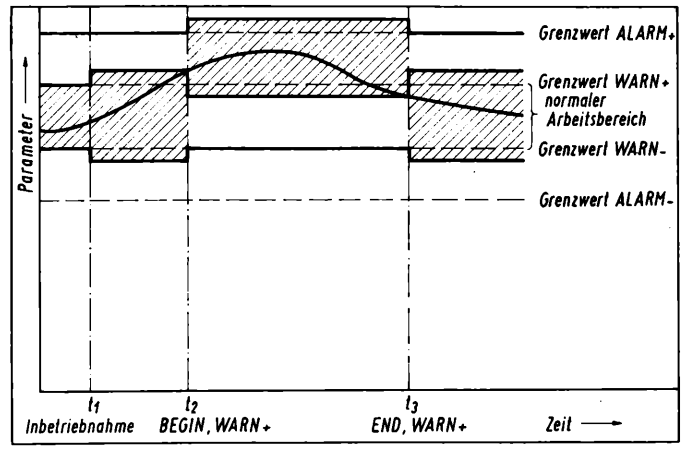


Bild 3. Definition der Grenzwerte mit Hysterese

Das Programm DISPA startet in Abhängigkeit vom eingegebenen Kommando den CAMAC-Test TESKAM oder das Alarmunterprogramm ALARM. Das Alarmunterprogramm ALARM besteht aus folgenden Teilprogrammen:

Programme zur Steuerung der CAMAC-Baugruppen

Das Programm INIT stellt den definierten Anfangszustand der Hard- und Software her (Initialisierung)

Das Programm IZME steuert die Messung, Wandlung und Prüfung der analogen Parameter, d.h. das Einschalten des Meßkanals mit dem Meßstellenumschalter, den Start des ADC, die Prüfung des *L*-Signals, das Lesen der Informationen und das Ausschalten des Kanals. Außerdem kann eine einfache, wenig aufwendige Filtergleichung, beispielsweise in der folgenden Form, aufgerufen werden.

$$x = \frac{1}{8}\left(\sum_{i=1}^{10} x_i - x_{max} - x_{min}\right).$$

Der Mittelwert aus 10 Meßergebnissen wird vorzugsweise über eine Zykluszeit des Beschleunigers gebildet, um den Einfluß der wichtigsten Störfrequenz auszuschalten. Die Zyklusfrequenz beträgt 600 Hz.

Das Programm IREL organisiert das Lesen der binären Signale. Sie werden wortweise gelesen und nur dann als richtig angenommen, wenn sich dreimal hintereinander das gleiche Resultat ergibt. Wenn Fehler bei der Meßwerterfassung ermittelt werden (z.B. Resultat ist nicht konstant), werden sie durch das Programm ERROR in den Ausgabespeicher eingeschrieben. Neben der Art des Fehlers werden der Meßkanal, die Nummer des Parameters und des Untersystems sowie die Zeit des Eintretens des Fehlers übermittelt.

Programme zur Parameterprüfung

Das Programm TESAN überprüft, in welchem Zustand sich die nicht maskierten analogen Signale befinden. Die Grenzen für die möglichen Zustände ALARM+, WARNING+, NORMAL, WARNING— und ALARM— sind im Datenspeicher DATAN enthalten. Im Bild 3 sind schematisch diese Grenzwerte für einen Parameter angegeben. Es ist weiterhin dargestellt, daß die Empfindlichkeit des Alarmsystems durch eine Hysterese bei den Grenzübergängen herabgesetzt wird. Die Hysterese wirkt so, daß das Heraustreten des Parameters aus einem Kanal erschwert wird. Damit werden häufige Zustandsänderungen in der Nähe einer Grenze vermieden, die beispielsweise durch Meßungenauigkeiten hervorgerufen werden können. Mit Hilfe des in der Speicherzelle FLAG gespeicherten Vorzustands des entsprechenden Parameters können Zustandsänderungen (BEGIN, END) ermittelt werden.

Das **Programm TESREL** überprüft die binären Signale wortweise nach der folgenden logischen Gleichung:

$$\text{FLAG} = \text{WORD 1} \oplus \overline{\text{WORD 2} + \text{WORD 2} + \text{WORD 3}}$$

Es bedeuten:

WORD 1 vorgegebenes WORT
WORD 2 gemessenes WORT
WORD 3 Maske

Das **Programm LOGIK** überprüft alle Informationen über analoge Parameter, die sich im Zwischenspeicher BUF befinden, vor der Ausgabe nochmals mit der Logik „2 aus 3". Jede Information wird noch einmal bestimmt. Wenn das 2. Ergebnis mit dem 1. Ergebnis übereinstimmt, wird die entsprechende Information als richtig angenommen und weitergeleitet. Anderenfalls erfolgt eine 3. Messung, und es wird

- die Information im Speicher BUF berichtigt, wenn das 2. und 3. Resultat übereinstimmen
- die Information im Speicher BUF gelöscht, wenn die 2. und 3. Messung übereinstimmend ergeben haben, daß die 1. Information gegenstandslos war
- eine Fehlermitteilung „Resultat ist nicht konstant" ausgegeben, wenn das 2. und 3. Resultat auch nicht übereinstimmen.

Das Ausgabeprogramm OUTPUT formiert die weiter oben definierten Informationen und schreibt sie in den Ausgabespeicher BUF. W.

Das Programm ERROR formiert die Informationen über ermittelte Fehler (z.B. Kanalüberlauf) und überträgt sie in den Ausgabespeicher BUF. W.

Besonders hohe Anforderungen werden an die Verfügbarkeit des Automatisierungssystems gestellt. Der Anteil der Ausfälle des Beschleunigers durch die Automatisierungseinrichtung darf nur 1 bis 3% der Gesamtausfälle betragen.

Das Programm TESKAM soll durch die automatische Fehlersuche die Zeit zur Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit entscheidend verringern. Es überprüft sämtliche CAMAC-Funktionen einschließlich der Antworten *Q*, *X*, *L*, *I*, *Z* aller Bausteine. Außerdem wird mit Hilfe eines Testkanals die Stabilität des analogen Meßtraktes als Resultat von 1000 Messungen überprüft. Ausgegeben wird eine Liste der Fehler und spezieller Daten, beispielsweise die Zahl der Meßwerte, die aus einem vorgegebenen Kanal heraustreten. Das Programm kann auf Initiative der Nutzer gestartet werden. Es wird

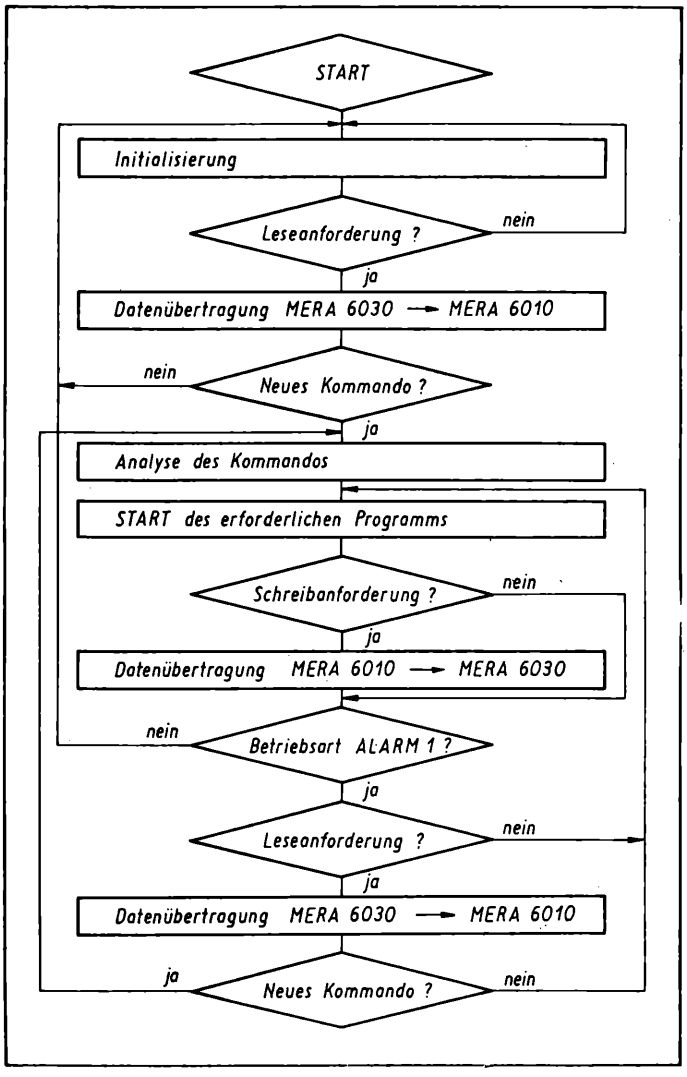


Bild 4. Ablaufplan des Dispatchers eines Untersystems

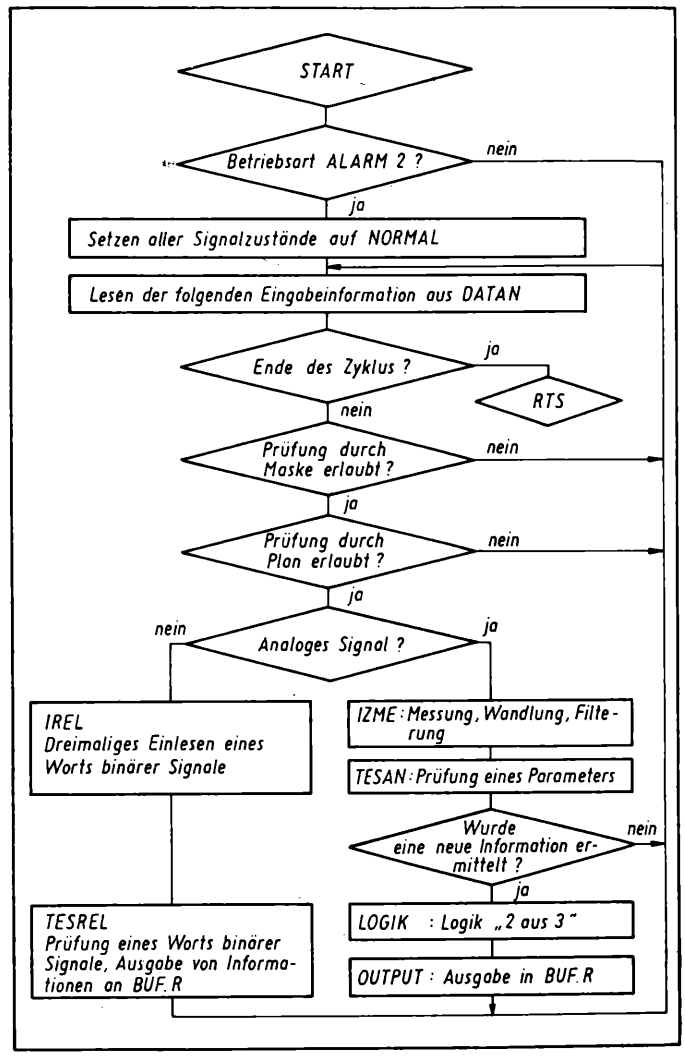


Bild 5. Ablaufplan des Alarmsystems

automatisch bei der Einschaltung der Anlage sowie beim Auftreten von Fehlern, die durch das Programm ERROR ermittelt wurden, gestartet.

5.2. Der Dispatcher eines Untersystems

Das Dispatcherprogramm DISPA steuert die Abarbeitung der in Abschnitt 5.1 angegebenen Programme in einem Untersystem (Bild 4). Nach der Initialisierung erwartet der Dispatcher eine Leseanforderung von der Zentralmaschine. Wenn eine Leseanforderung vorliegt, werden die Informationen vom Zentralrechner über den Eingabespeicher des Untersystems BUF. R in den Rechner des Untersystems übertragen. Wenn die Informationen Kommandos enthalten, werden diese durch das Programm DISPA analysiert und ausgeführt. Wenn die Informationen Eingabedaten enthalten, werden sie in den Datenspeicher DATAN des Untersystems übertragen. Nachdem entsprechend dem übertragenen Kommando ein Test der CAMAC-Ausrüstung oder ein vollständiger Alarmzyklus abgearbeitet ist, prüft der Dispatcher, ob Informationen zur Zentralmaschine übertragen werden sollen. Ist das der Fall, erfolgt die Datenübertragung über den Ausgabespeicher des Untersystems BUF. W. Außerdem wird geprüft, ob eine neue Leseanforderung vorliegt. Im Falle der Betriebsart ALARM 1 wird automatisch der nächste Alarmzyklus gestartet, und zwar bis zu dem Zeitpunkt, in dem neue Kommandos vorliegen.

5.3. Die Organisation des Alarmhauptprogramms

Das Alarmprogramm (Bild 5) setzt, wenn die Betriebsart ALARM 2 (Statische Tabelle) vorgegeben ist, alle FLAGs im Datenspeicher DATAN, die den Vorzustand speichern, in den Zustand NORMAL. Dann wird eine Information aus dem Datenspeicher gelesen und an Hand der Maske und des Abtastplanes geprüft, ob der Parameter untersucht werden soll. Wenn die Prüfung nicht verboten ist, wird festgestellt, ob es sich um ein analoges oder ein binäres Signal handelt. Binäre Signale werden wortweise gelesen und geprüft, wobei die Masken, das Sollwort und die FLAGs die den Vorzustand speichern, dem Datenspeicher DATAN entnommen werden.

Analoge Signale werden, gegebenenfalls nach Filterung, mit den vorgegebenen Grenzwerten verglichen. Die Grenzwerte, Masken und FLAGs jedes Parameters werden aus dem Datenspeicher DATAN gelesen. Je nach vorgegebener Betriebsart werden alle Ergebnisse (ALARM), nur Änderungen des Zustands von Parametern (ALARM 1) oder nur Alarmmeldungen (ALARM 2) in den Ausgabespeicher BUF. R übernommen. Die durch das Alarmprogramm ermittelten Fehler, beispielsweise „Resultat ist nicht konstant" oder „Überlauf eines Meßkanals", werden durch das Programm ERROR ebenfalls in den Ausgabespeicher eingeschrieben, um eine schnelle Information zu sichern. Bei Entdeckung eines fatalen Fehlers wird gleichzeitig der automatische Test TESKAM gestartet.

6. Übersicht über die Programme des Zentralrechners

Der zentrale Rechner empfängt Informationen sowohl aus den 4 Untersystemen als auch über das Display mit Bedientastatur durch den Nutzer (Bild 6). Die Informationen aus den Untersystemen werden durch das Programm TRANSF in die Pufferspeicher BUFOUT (Resultate des Alarmprogramms) bzw. TESBUF (Resultate von automatischen Testprogrammen) geschrieben. Dabei ist der Speicher BUFOUT so organisiert, daß er immer die 100 aktuellsten Informationen enthält. Wesentliche Informationen können in der Datenbank mit Langzeitspeichern auch permanent gespeichert werden.

Das Ausgabeprogramm PRINT gibt die Alarmresultate aus dem Speicher BUFOUT in Form der statischen und dynamischen Tabellen mit dem Display oder dem Schnelldrucker aus.

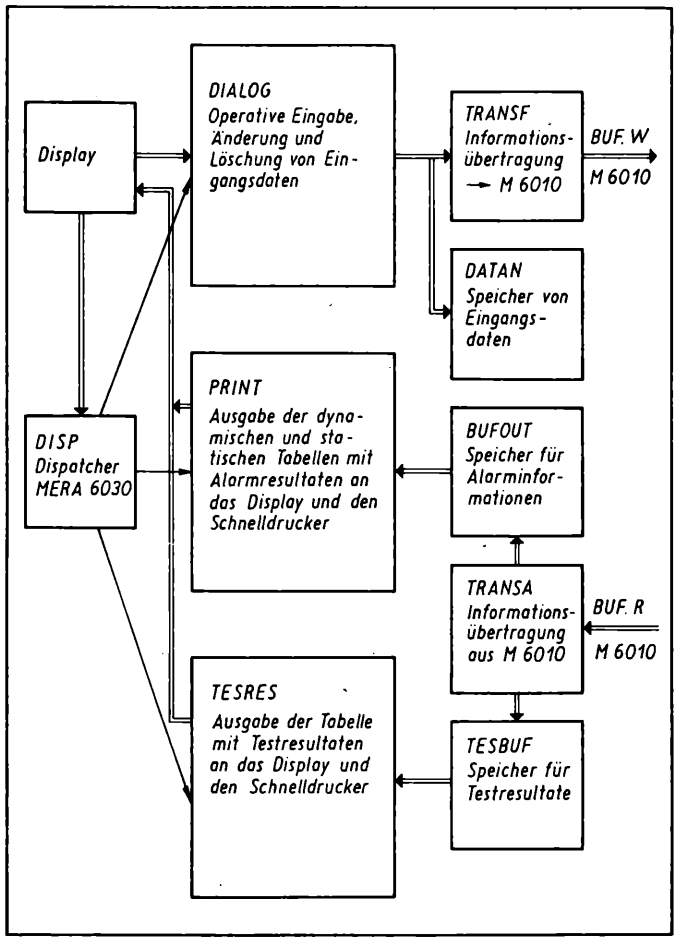


Bild 6. Software des Zentralrechners

Das Ausgabeprogramm TESRES gibt mit den gleichen Geräten die Resultate des automatischen Tests aus.
Zweckmäßig werden für die statische und dynamische Tabelle getrennte Displays vorgesehen.
Das Programm DIALOG ermöglicht mit einfachen Kommandos den Dialog des Systems mit dem Nutzer. Außer den bereits erläuterten Kommandos *A 1*, *A 2*, *A 3*, *T* gibt es noch folgende Befehle:

D Aufruf des Dialogprogramms
P Start der Datenübertragung vom Zentralrechner in die Untersysteme.

Vom Nutzer können folgende Daten eingegeben werden:

— Maximal 4 Grenzwerte für jeden analogen Parameter (siehe Bild 3). Der Dialog wird mit den tatsächlichen physikalischen Größen der Parameter geführt.
— Die logische Definition der binären Parameter, z.B. „Vorvakuumschieber zu", entspricht dem logischen Wert 1.
— Die Masken, die die Prüfung der Parameter bzw. die Berücksichtigung einzelner Grenzen erlauben oder verbieten.
— Die Faktoren, die die physikalischen Werte der analogen Parameter mit dem internen Dualwort verknüpfen, das der Rechnung im Untersystem zugrunde liegt.
— Die relative Häufigkeit der Prüfung jedes Parameters (Abtastplan).

Für Inbetriebnahme- und Serviceingenieure bestehen weitere Möglichkeiten zur Änderung dieser Daten. Sie können weitere Parameter hinzufügen, bzw. Parameter im Speicher löschen. Sie können die Zuordnung einzelner Parameter zu den Meßkanälen ändern oder die Bezeichnungen der Parameter im Textspeicher MNEMO ändern.

Literatur

[1] *Anossov, W. N.;* u.a.: VIK-Mitteilung P9-81-55, Dubna 1981
[2] *Anossov, W. N.; Krug, H.:* VIK-Mitteilung P9-81-417, Dubna 1981
[3] *Anossov, W. N.; Krug, H.:* VIK-Mitteilung P9-82-62, Dubna 1982
[4] *Krug, H.:* VIK-Mitteilung P10-83-175, Dubna 1983
[5] *Antjuchov, W. A.;* u.a.: VIK-Mitteilung 10-8114, Dubna 1974; VIK-Mitteilung 10-9479, Dubna 1976; VIK-Mitteilung 10-10576, Dubna, 1977; VIK-Mitteilung 10-80-650, Dubna 1980

EA 5213

Bidirektionale Lichtleitsignalübertragung zwischen Mikrorechnern in Elektroenergieanlagen

D. Engelage, KDT; D. Proske, KDT; H. Klar, KDT; P. Spangenberg, KDT; Zittau

1. Vorbemerkung

Die Gestaltung von Energieanlagen, deren Betriebsführung und deren Zuverlässigkeit wird in zunehmendem Maße von elektronischen Verfahren zur Messung, Steuerung, Regelung, Überwachung und Diagnose beeinflußt. Damit einher geht eine Veränderung der Anlagenkonzeption besonders zu den informations- und automatisierungstechnischen Funktionseinheiten. Das führte zur Konzipierung von modular gestalteten Bausteinsystemen. Bezüglich der Signalstruktur für die Messung, Steuerung, Regelung, Überwachung ist der Übergang von der Analog- zur Digitaltechnik durch die Mikroprozessortechnik erforderlich. Hierbei sind sowohl Meßwerte aus dem Anlagenbereich als auch Steuer- und Regelbefehle in entgegengesetzter Richtung zu übertragen. Die Realisierung bidirektionaler Kanäle mit und ohne Mikrorechner-Kopplung ist dabei eine allgemein notwendige Aufgabenstellung bei der Anwendung der unidirektionalen Lichtleitübertragung im Kurzstreckenbereich.

2. Ableitung der Aufgabenstellung

Zur Realisierung der Signalübertragung zwischen Mikrorechnern stehen die im Bild 1 (siehe 2. US) zusammengestellten Verfahren zur Verfügung. Da die Lichtleittechnik gegenwärtig zur parallelen Signalübertragung aus ökonomischen Gründen nicht eingesetzt wird, sind vor allem die seriellen Übertragungsverfahren zu untersuchen. Aus der Struktur des zu steuernden Prozesses ergibt sich für die Signalübertragung eine Sternstruktur. Es wird demzufolge eine Punkt-Punkt-Übertragung realisiert.
Der zu steuernde Prozeß erfordert eine Meßwerterfassung mit einer festen Abtastfrequenz und die Übertragung der digitalisierten Momentanwerte. Dadurch wird der Übertragungsrhythmus bestimmt. Die Anzahl der zu erfassenden Meßwerte und Meldungen ist vom Einsatzort abhängig. Demzufolge muß das Übertragungsprotokoll variabel sein. Die maximale Übertragungsrate beträgt etwa 250 kBit/s. Die Realisierung eines variablen Übertragungsprotokolls mit einer Hardware-Variante ist unzweckmäßig, so daß der LSI-Schaltkreis U 856 (SIO) Verwendung findet. Da die Meßwerterfassung einen festen Übertragungsrhythmus und ein synchrones Abtasten erfordert, ist eine synchrone Datenübertragung zweckmäßig. Der Einsatz des LSI-Schaltkreises U 858 (DMA) gestattet eine zeiteffektive Arbeitsweise. Zur Lösung der Aufgabe ist eine bidirektionale Datenübertragung über einen Mikrorechner mit einer Übertragungsrate von 500 kBit/s erforderlich. Diese Übertragungsrate gilt als ausreichend, da die zu übertragende Datenmenge in einer Richtung etwa 250 kBit/s beträgt, während sie in der Gegenrichtung nur etwa 10% dieses Wertes beträgt. Daher ist der Einsatz des DMA-Schaltkreises auch nur für eine Übertragungsrichtung erforderlich. Aus den angeführten Randbedingungen ergibt sich die im Bild 2 (2. US) gezeigte Struktur der Informationsübertragung.
Bild 3 (2. US) zeigt den allgemeinen Aufbau eines zu übertragenden Blockes. Am Anfang steht ein Flag-Byte, gefolgt von zwei Bytes zur Kennzeichnung des Blockes. Dann folgen n Byte Daten, wobei $0 < n \leq 32$ ist. Die obere Begrenzung der Blocklänge ergibt sich aus der Übertragungsrate. Der Block wird von zwei CRC-Bytes und einem Flag-Byte abgeschlossen. Das Bild zeigt zwei mögliche Realisierungsbeispiele. Grundsätzlich können innerhalb der angegebenen Grenzen beliebig viele 16 Bit bzw. 8 Bit breite Meßwerte oder binäre Meldungen übertragen werden.

3. Darstellung der technischen Lösung

Die Entwicklung des bidirektionalen seriellen Mikrorechner-Interface für Lichtleit-Signalübertragung erfolgte mit zwei Interface-

Prof. Dr.-Ing. *Dieter Engelage* ist Wissenschaftsbereichsleiter, Dr.-Ing. *Detlef Proske* ist wissenschaftlicher Oberassistent, Dipl.-Ing. *Hubert Klar* und Dipl.-Ing. *Peter Spangenberg* sind wissenschaftliche Assistenten an der Ingenieurhochschule Zittau.

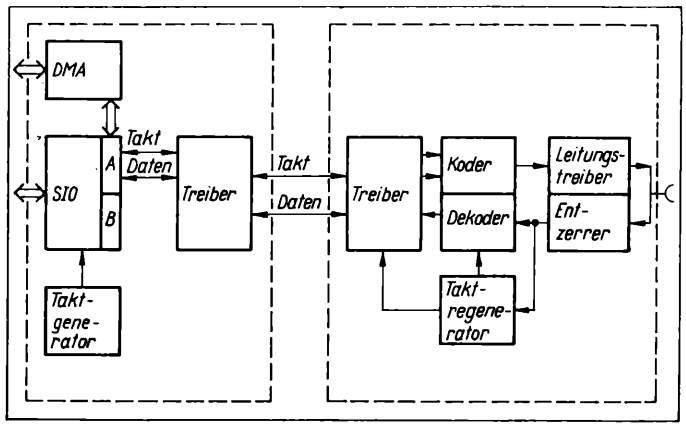


Bild 4. Interface für Koaxialkabel-Bus

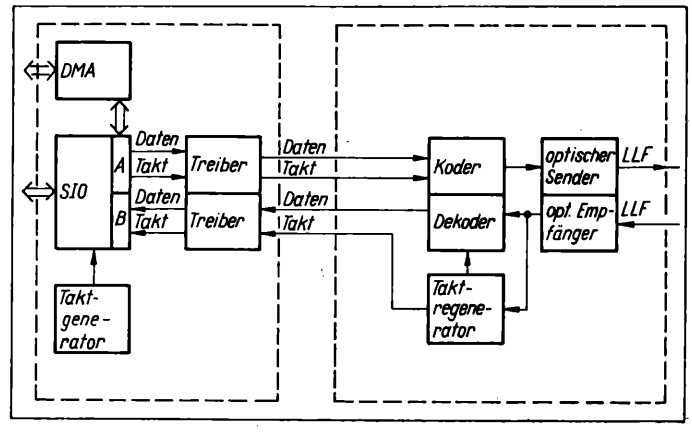


Bild 5. Lichtleit-Interface

Leiterplatten (Anschaltung eines Mikrorechners K 1520 an einen seriellen Koaxialkabel -Bus). Die Struktur zeigt Bild 4.

Diese für die Erfüllung anderer Aufgaben entworfene Struktur hat für den Einsatz als Licht-Leit-Interface folgende Nachteile:

— Eine bidirektionale Verbindung auf einem Lichtleiter analog einem Koaxialkabel ist z. Z. technologisch noch nicht beherrschbar. Sie erfordert in jedem Fall getrennte optische Sender und Empfänger, die über einen Y-Koppler an die Faser angeschlossen werden.

— Die Richtungssteuerung mit Umschaltung von Senderbetrieb auf Empfangsbetrieb ist sehr kritisch für einen Echtzeitbetrieb bei abwechselndem Senden und Empfangen. Da mit nur einem SIO-Port gearbeitet wird, benötigt das Uminitialisieren des Ports von „Senden" auf „Empfangen" und umgekehrt zu viel Zeit.

Die Struktur des seriellen Interface wurde deshalb entsprechend Bild 5 abgeändert.

Das entwickelte Interface für die bidirektionale Verbindung zweier Mikrorechner mit Hilfe von Lichtleitern nutzt konsequent die Möglichkeiten, die der SIO-Schaltkreis für eine serielle Datenübertragung bietet. Die Datenübertragung erfolgt blockweise mit einer Datenrate von 500000 Bit/s. Zur Unterstützung des Blocktransfers ist ein DMA-Schaltkreis eingesetzt, der den Datentransport im jeweiligen Mikrorechner aus einem Speicherbereich oder von einem E/A-Gerät zur SIO bzw. in entgegengesetzter Richtung steuert.

Die Form der Übertragung entspricht dem HDLC-Verfahren, wobei die Blocklänge beliebig ist. Die sendende SIO organisiert automatisch ein CRC-Fehlersicherungsverfahren, indem sie ein 16-Bit-CRC-Wort an den jeweilig zu übertragenden Informationsblock „anhängt". Das CRC-Wort wird in einem rückgekoppelten Schieberegister sukzessive aus dem auslaufenden Informationsblock gebildet. Empfängerseitig wird in einem gleichen Schieberegister die CRC-Kontrolle anhand des Informationsblockes und des gesendeten CRC-Worts durchgeführt. Als Ergebnis muß sich eine Konstante ergeben. Ist dies nicht der Fall, so wurde der empfangene Block gestört und wird abgewiesen. Durch die Kodierung des Sendesignals im Bi-Phasen-Kode wird eine relativ große Zahl von Taktflanken im Signal erreicht. Das ist notwendig, da empfangsseitig der Taktregenerator die Flanken zur Wiederherstellung des Zeitbezugs nutzt.

Durch Einschieben eines unerlaubten Kodewortes auf der Sendeseite und Erkennen dieses Bitmusters auf der Empfangsseite kann zusätzlich ein Synchronsignal übertragen werden. Das hat z. B. bei einer Sternstruktur Bedeutung, um von einer Zentrale aus an den Sternpunkten A/D-Wandler zur Meßwerterfassung zu synchronisieren.

Mit einer Bitfehlerrate von 10^{-6} (die durch die Kenngrößen der Lichtleitübertragungsstrecke wie Sendeleistung, Faserdämpfung und Empfängerempfindlichkeit bestimmt wird) erreicht man folgende Übertragungssicherheit:

Das CRC-Fehlersicherungsverfahren der SIO ist in der Lage, in einem übertragenen Block alle Ein-, Zwei- und Dreifach-Fehler sowie alle Fehler ungeradzahligen Gewichts zu erkennen. Weiterhin werden alle Burstfehler der Länge $l_F \leqq 16$ erkannt. Geht man von einer Blocklänge von $n = 200$ Bit aus, so wird die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Bit im Block gestört ist, zu

$$p_{R1} = 0{,}0002. \tag{1}$$

Es wird zwar im statistischen Mittel jeder fünftausendste Block gestört, doch diese Störung wird erkannt. Erst ein Fehler des Gewichts $g \geqq 4$ wird nicht mehr erkannt. Die Restfehlerwahrscheinlichkeit ist dann:

$$p_{R4} = \sum_{\nu=4}^{n} \binom{n}{\nu} p_B{}^{\nu} (1 - p_B)^{n-\nu} \tag{2}$$

$$p_{R4} \approx \frac{(n p_B)^4}{4!} e^{-np} B \tag{3}$$

$$p_{R4} \approx 6{,}6 \cdot 10^{-17} \quad (p_B \triangleq \text{Bitfehlerrate}). \tag{4}$$

Das entspricht bei ständigem Senden von Blöcken ohne Pause einem mittleren Abstand von etwa $2 \cdot 10^5$ Jahren zwischen 2 solchen Fehlern. Im Vergleich dazu würde ein einfaches Prüfbit, wie es z. B. innerhalb von EDVA zur Fehlersicherung verwendet wird, nur Fehler ungeradzahligen Gewichts erkennen, d. h., schon ein 2fach-Fehler bleibt unerkannt.

Fortsetzung auf Seite 292

Bild 6. Blockstruktur des digitalen Taktrückgewinnungsverfahrens

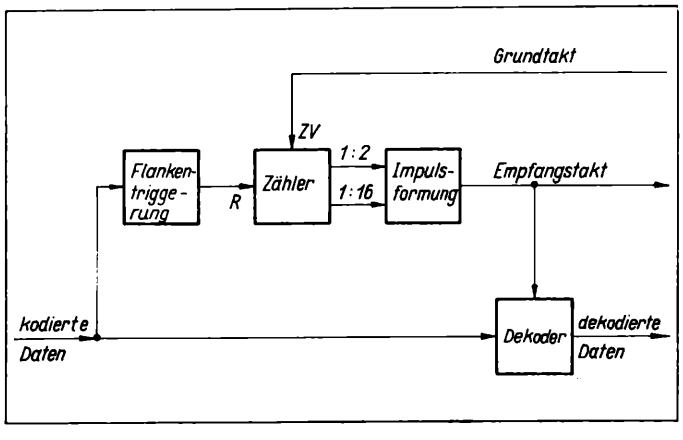
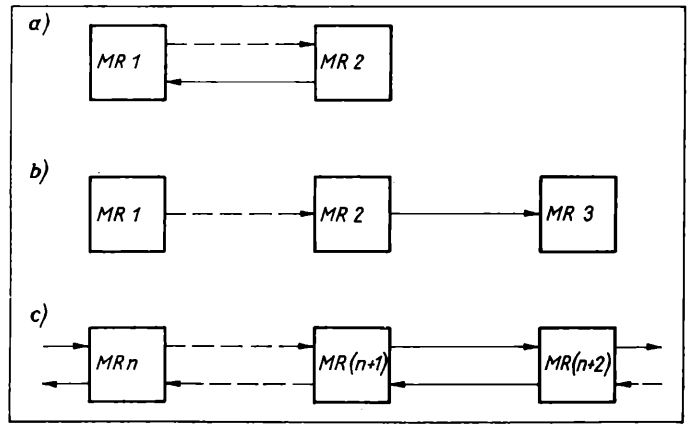


Bild 7. Erweiterung auf bidirektionale Bus-Struktur



Einfluß der Erdung des Nulleiters an Spannbetonmasten auf die Fehlerspannung im Niederspannungsnetz

A. Döhler, KDT, Zittau; D. Nerger, KDT, Dresden

1. Zielstellung

Ausgehend von den vor allem in ländlichen Niederspannungs-Freileitungsnetzen zur Einhaltung der erdungstechnischen Forderungen im Zusammenhang mit der Schutzmaßnahme Nullung nach [1] notwendigen, zusätzlichen (künstlichen) Erdern wurde 1980 eine Erdung des Nulleiters durch dessen Anschluß an die Bewehrung der Spannbetonmaste unter Ausnutzung deren Fundamenterderwirkung eingeführt [2] [3].

Zur Beurteilung der Wirksamkeit dieser Maßnahme ist die Kenntnis des Fehlerspannungsverlaufes erforderlich. Bereits die Ermittlung des einpoligen Kurzschlußstromes nach [4] bereitet dabei gewisse Schwierigkeiten, da die Einbeziehung des Nulleiter-Mast-Kettenleiters in die modifizierte Nullselbstimpedanz erforderlich ist. Ferner sind zur Berechnung des Fehlerspannungsverlaufes im wesentlichen vereinfachte Verfahren [5] [6] und [7] bekannt, die die hier vorliegende Erdung des Nulleiters nicht ausreichend erfassen.

Das Ziel dieses Beitrages ist es daher, erstens ein mathematisch-physikalisches Modell zur Berechnung des einpoligen Kurzschlußstromes sowie des Fehlerspannungsverlaufes unter Berücksichtigung des realen Nulleiter-Mast-Kettenleiters vorzustellen und zweitens damit erzielte Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses der Lage der Fehlerstelle, der tatsächlichen Masterdungsimpedanzen, der Stationserdungsimpedanz sowie der Leitungsbelegung auf die Fehlerspannungsverteilung anzugeben.

2. Mathematisch-physikalisches Modell

Ausgangspunkt der Betrachtungen ist ein einpoliger Erdkurzschluß auf einer Niederspannungsfreileitung, die zu einem von einer Transformatorenstation gespeisten Strahlennetz gehört. Diese Situation ist für den hier zu behandelnden Fall, daß der Nulleiter an den als Fundamenterder genutzten Betonmasten angeschlossen ist, im Bild 1 prinzipiell dargestellt. Bezogen auf die Klemmen 1 und 2 kann hierfür grundsätzlich die im Bild 2 angegebene Zweipol-Ersatzschaltung vereinbart werden. Für die Bestimmung des einpoligen Erdkurzschlußstromes $\underline{I}_{k(1)}$ entsteht hieraus folgende Beziehung:

$$\underline{I}_{k(1)} = \frac{\underline{U}_l}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_a}. \tag{1}$$

Die Parameter des aktiven Zweipols im Bild 2

$\underline{U}_l$ Leerlaufspannung
$\underline{Z}_i$ innere Impedanz

werden auf der Grundlage der in [8] angegebenen Beziehung zur Berechnung des einpoligen Erdkurzschlußstromes $\underline{I}_{k(1)}$ direkt hinter dem Transformator ($\underline{Z}_a = 0$) bestimmt:

$$\underline{I}_{k(1)} = \frac{1{,}05\sqrt{3}\,U_n}{2\,\underline{Z}_{1E} + 2\,\underline{Z}_{1T} + \underline{Z}_{0T}} \tag{2}$$

U_n Nennspannung
$\underline{Z}_{1E}$ Mitimpedanz des speisenden Netzes
$\underline{Z}_{1T}$ Mitimpedanz des Transformators
$\underline{Z}_{0T}$ Nullimpedanz des Transformators.

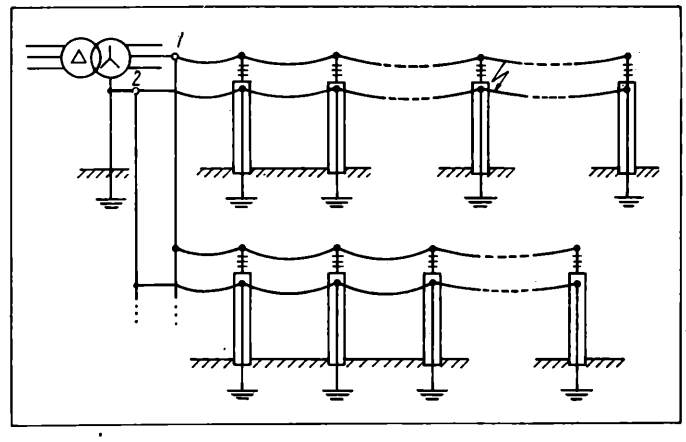


Bild 1. Prinzipieller Aufbau des Niederspannungs-Strahlennetzes

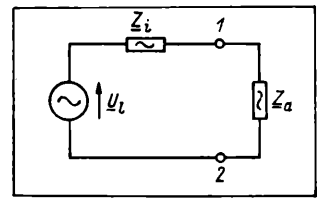


Bild 2. Zweipol-Ersatzschaltung

Dr.-Ing. *Axel Döhler* war z.Z. des dem Manuskript zugrunde liegenden Vortrages (8. Erdungstagung der KDT) wissenschaftlicher Assistent an der IH Zittau. Dipl.-Ing. *Dieter Nerger* ist Gruppenleiter im VEB Energiekombinat Dresden.

An dieser Stelle sei Herrn Doz. Dr. sc. techn. *Herbert Kindler*, Ingenieurhochschule Zittau, für wertvolle Anregungen zu dieser Arbeit gedankt.

Fortsetzung von Seite 291

Die Restfehler-Wahrscheinlichkeit dafür ist

$$p_{R2} \approx \frac{(n\,p_B)^2}{2}\,e^{-np}\,B \tag{5}$$

$$p_{R2} \approx 2 \cdot 10^{-8}. \tag{6}$$

Unter den gleichen Randbedingungen wie oben entspricht das einem mittleren Fehlerabstand von etwa 6 Stunden. Diese Aussagen gehen allerdings von der Voraussetzung aus, daß statistisch unabhängige Ursachen wie Rauschprozesse die Bitfehler hervorrufen. Burst-Fehler werden bis zur Länge 16 erkannt.

4. Zusammenfassende Feststellungen

Eine wichtige Aufgabe besteht in der Bestimmung des Langzeitverhaltens des Übertragungssystems. Dabei sind durch eingehende Untersuchungen die theoretisch ermittelten und durch Messungen nachgewiesenen Fehlerraten genauer zu analysieren, um die Aussagen zur Restfehlerwahrscheinlichkeit detaillierter zu gestalten. Besondere Bedeutung hat daher das Verhalten bei Burst-Fehlern.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Weiterentwicklung der Schaltung zur Taktrückgewinnung. Die bisher eingesetzte Schaltung mit Kollektorschwingkreis erfordert auf Grund ihrer analogen Funktionsweise einen hohen Einstellaufwand. Um diesen Aufwand zu senken, wird der Einsatz einer binären Variante nach Bild 6 erwogen.

Auf eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Übertragungsverfahrens soll hingewiesen werden. Gegenwärtig ist mit Hilfe von Lichtleitern nur eine unidirektionale Signalübertragung möglich. Da auch Stern- oder T-Koppler mit den geforderten Eigenschaften noch nicht zur Verfügung stehen, werden bidirektionale serieller Busse aus unidirektionalen Lichtleitübertragungsstrecken mit elektronischen Koppelgliedern aufgebaut (Bild 7c). Das vorgestellte Übertragungsverfahren mit der in Bild 7a angegebenen Grobstruktur bietet die Möglichkeit, es durch Auftrennung (Bild 7b) unmittelbar als Grundbaustein eines solchen Bus-Systems einzusetzen.

EA 5283

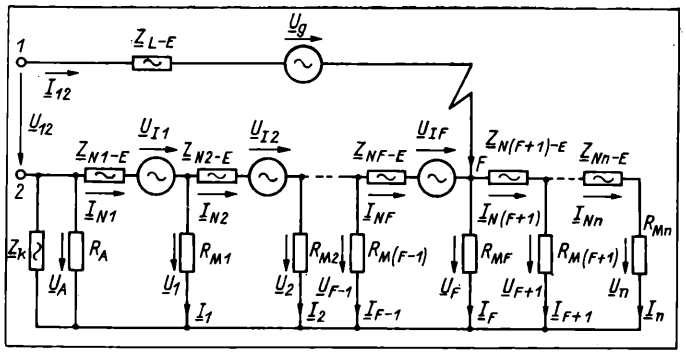


Bild 3. Ersatzschaltung zur Bestimmung von $\underline{Z}_a$

$\underline{Z}_{Ni-E}$ Selbstimpedanz der Nulleiter-Erde-Schleife des i-ten Spannfeldes
R_{Mi} Ausbreitungswiderstand des i-ten Mastfundamenterders
$\underline{Z}_k$ Kettenleiterimpedanz weiterer an der Station angeschlossener Kettenleiter
R_A Ausbreitungswiderstand der Erdungsanlage der Station
$\underline{U}_{Ii}$ infolge induktiver Kopplung durch den Strom in der Außenleiter-Erde-Schleife in der Nulleiter-Erde-Schleife des i-ten Spannfeldes hervorgerufene Spannung
$\underline{U}_i$ Fehlerspannung am i-ten Mast
$\underline{U}_g$ infolge induktiver Kopplung durch die Ströme in der Nulleiter-Erde-Schleife in der Außenleiter-Erde-Schleife hervorgerufene Spannung

Durch einen Koeffizientenvergleich mit Gleichung (1) für den Fall $\underline{Z}_a = 0$ entsteht: (3)

$$\underline{U}_l = 1{,}05 \frac{U_n}{\sqrt{3}} \tag{4}$$

$$\underline{Z}_i = \frac{1}{3}(2\,\underline{Z}_{1E} + 2\,\underline{Z}_{1T} + \underline{Z}_{0T}). \tag{5}$$

Zur Bestimmung der Impedanz $\underline{Z}_a$ wird aus Bild 1 die im Bild 3 dargestellte Ersatzschaltung abgeleitet. Für die Analyse dieser Ersatzschaltung wird davon ausgegangen, daß ein in den passiven Zweipol eingespeister Strom $\underline{I}_{12}$ an den Klemmen die Spannung

$$\underline{U}_{12} = \underline{Z}_a\ \underline{I}_{12} \tag{6}$$

hervorruft.
Über den Maschensatz kann ferner folgender Zusammenhang angegeben werden:

$$\underline{U}_{12} + \underline{U}_A - \underline{U}_F - \underline{I}_{12}\,\underline{Z}_{L-E} - \underline{U}_g = 0. \tag{7}$$

Mit Gleichung (6) entsteht daraus:

$$\underline{Z}_a = \frac{\underline{U}_{12}}{\underline{I}_{12}} = \underline{Z}_{L-E} + \frac{\underline{U}_F - \underline{U}_A}{\underline{I}_{12}} + \frac{\underline{U}_g}{\underline{I}_{12}}. \tag{8}$$

Die Selbstimpedanz der Außenleiter-Erde-Schleife $\underline{Z}_{L-E}$ wird näherungsweise nach [9] berechnet:

$$\underline{Z}_{L-E} = \underline{Z}'_{L-E}\, l_F \tag{9}$$

$$\underline{Z}'_{L-E}\big|_{\Omega\,\mathrm{km}^{-1}} = R'_L\big|_{\Omega\,\mathrm{km}^{-1}} + 0{,}05 + j\,0{,}1445\,\lg \times \frac{9300\sqrt{\varrho/\Omega\,\mathrm{m}}}{r_L/\mathrm{cm}} \tag{10}$$

R'_L Resistanz des Außenleiters
r_L Radius des Außenleiters
ϱ spezifischer Erdwiderstand
l_F Leitungslänge von der Station bis zur Fehlerstelle.

Zur Ermittlung der übrigen Ausdrücke in Gleichung (8) wird ein in [10] dargelegter Weg zur Berechnung der Strom- und Spannungsverhältnisse in Kettenleitern bei eingeprägten Strömen genutzt. Dazu müssen jedoch zunächst die Elemente des hier vorliegenden Kettenleiters bestimmt werden.
Die Ausbreitungswiderstände der Maste R_{Mi} sowie der Erdungsanlage der Station R_A sind als über eine Erdungsmessung oder -berechnung bekannte Größen zu betrachten. Die Kettenleiterimpedanzen weiterer an der Station angeschlossener Nulleiter-Mast-Kettenleiter können berechnet werden, indem vom Ende des Kettenleiters beginnend, durch ein schrittweises Parallelschalten der Kettenleiter bis hin zur Kettenleiterimpedanz vereinfacht wird.
Die Impedanzen des Nulleiters für jedes Spannfeld $\underline{Z}_{Ni-E}$ werden analog zu der Impedanz der Außenleiter-Erde-Schleife wie folgt ermittelt:

$$\underline{Z}_{Ni-E} = \underline{Z}'_{N-E}\, l_i \tag{11}$$

$$\underline{Z}'_{N-E/\Omega\,\mathrm{km}^{-1}} = R'_{N/\Omega\,\mathrm{km}^{-1}} + 0{,}05 + j\,0{,}1445\,\lg \times \frac{9300\sqrt{\varrho/\Omega\,\mathrm{m}}}{r_{N/\mathrm{cm}}} \tag{12}$$

R'_N Resistanz des Nulleiters
r_N Radius des Nulleiters
l_i Länge des i-ten Spannfeldes.

Die im i-ten Spannfeld infolge induktiver Kopplung mit der Außenleiter-Erde-Schleife im Nulleiter hervorgerufene Spannung kann näherungsweise über das Induktionsgesetz wie folgt berechnet werden:

$$\underline{U}_{Ii} = \underline{I}_{12}\,\underline{Z}'_{LN-E}\, l_i. \tag{13}$$

Die gegenseitige Impedanz zwischen der Außenleiter-Erde-Schleife und der Nulleiter-Erde-Schleife $\underline{Z}_{LN-E}$ wird dabei nach [9] berechnet:

$$\underline{Z}'_{LN-E/\Omega\,\mathrm{km}^{-1}} = 0{,}05 + j\,0{,}1445\,\lg \frac{9300\sqrt{\varrho/\Omega\,\mathrm{m}}}{D_{LN/\mathrm{cm}}}. \tag{14}$$

D_{LN} Abstand zwischen Nulleiter und fehlerbehaftetem Außenleiter.

Ausgehend von den über ein digitales Rechenprogramm ermittelten Strom- und Spannungsverhältnissen in dem vorliegenden Kettenleiter kann unmittelbar folgendes angegeben werden:

$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_F - \underline{U}_A}{\underline{I}_{12}} \tag{15}$$

$\underline{A}$ komplexer Proportionalitätsfaktor (infolge der Linearität des Kettenleiters von $\underline{I}_{12}$ unabhängig)
$\underline{I}_{12}$ für die Rechnung willkürlich angenommener eingeprägter Strom.

Auf der Grundlage von Bild 3 kann über das Induktionsgesetz ferner folgendes angegeben werden:

$$\underline{B} = \frac{\underline{U}_g}{\underline{I}_{12}} = \frac{\sum_{i=1}^{F} \underline{I}_{Ni}\,\underline{Z}'_{LN-E}\, l_i}{\underline{I}_{12}} \tag{16}$$

$\underline{B}$ analog $\underline{A}$.

Die Bestimmung von $\underline{B}$ ist wieder auf der Grundlage der bekannten Stromverteilung in dem vorliegenden Kettenleiter möglich.
Für die Impedanz $\underline{Z}_a$ nach Gleichung (8) ensteht damit schließlich:

$$\underline{Z}_a = \underline{Z}_{L-E} + \underline{A} + \underline{B}. \tag{17}$$

Da nunmehr der einpolige Erdkurzschlußstrom nach Gleichung (1) bekannt ist, könnte der Fehlerspannungsverlauf durch eine erneute Berechnung der Strom- und Spannungsverteilung mit $\underline{I}_{k(1)}$ als eingeprägtem Strom ermittelt werden. Infolge der Linearität des Kettenleiters kann jedoch sofort folgendes angegeben werden:

$$\underline{U}_{i\,\mathrm{tats}} = \underline{U}_i \frac{\underline{I}_{k(1)}}{\underline{I}_{12}} \tag{18}$$

$\underline{U}_{i\mathrm{tats}}$ tatsächliche Fehlerspannung (Nulleiter-Erde-Spannung) am i-ten Mast
$\underline{U}_i$ Fehlerspannung am i-ten Mast infolge des angenommenen Stromes $\underline{I}_{12}$.

Tafel 1. Ausgewählte Parameter des Niederspannungs-Freileitungsnetzes mit Masterdern; Kettenleiter

Al-Leiterquerschnitt in mm²	$R_A \| \underline{Z}_K =$			Leitungslänge		Mittlere Spannweite
Außenleiter/Nulleiter A_L/A_N	$\underline{Z}_{Mo}$ Ω	$R_{M1} \cdots R_{Mn}$ Ω	R_{MF} Ω	l_g km	l_F km	l_i m
50/50	1	4 [1])	4 [1])		0,2	
70/70	4	25 [2])	25 [2])	1,0	0,5	20
120/120	25 [2])	50	50	1,5	0,8	33
120/70	50				1,0	50
					1,5	

[1]) entsteht unter Berücksichtigung von
- zusätzlichen künstlichen Erdern, z. B. Überspannungsableitererdung,
- Erderwirkung der Potentialausgleichsysteme bei Abnehmern
- Einfluß der Masterdungswiderstände von Abzweigleitungen am Abzweigmast.

[2]) gemäß [2] Mast-Erdungswiderstand für $\varrho = 100\ \Omega$ m

Tafel 2. Ausgewählte Parameter des Niederspannungs-Freileitungsnetzes mit Einzelerder an Station und Leitungsende

Al-Leiterquerschnitt in mm² A_L/A_N	$\underline{Z}_{M0}$ Ω	R_{Mn} Ω	l_g km	l_F km	a m
70/70	4	4	1,0	1,0	33
	2	5			
	1	4		0,5	

3. Analyse des Verlaufes der Fehlerspannung

3.1. Vereinbarungen für die Berechnung

Der Fehlerspannungsverlauf wurde auf der Grundlage des entwickelten Modelles für eine Vielzahl von Beispielen berechnet. Diese wurden durch die Kombination der in den Tafeln 1 und 2 angegebenen Parameter gewonnen. Die Wahl der Parameter erfolgte mit dem Ziel, die praktischen Verhältnisse der öffentlichen Energieversorgung weitestgehend zu berücksichtigen. Für die beiden Erdungsfälle an der Station

- $\underline{Z}_{M0} = 25\,\Omega$ (Sonderfall)
- $\underline{Z}_{M0} = 1\,\Omega$ (Regelfall)

$\underline{Z}_{M0}$ Parallelschaltung von R_A und $\underline{Z}_K$

wurde im folgenden anhand der Berechnungsergebnisse der Einfluß des Fehlerortes, der Leitungsbelegung und der Masterdungsimpedanzen auf den Fehlerspannungsverlauf untersucht. Dabei wurden die Impedanzen des Transformators, der Freileitung sowie der Erdungsanlagen, unter Zugrundelegung der folgenden Annahmen nach [2] und [11] bestimmt:

- Freileitung gemäß [12]
- Transformator mit $S_n = 630$ kVA, Schaltung Dy 5
- spezifischer Erdwiderstand $\varrho = 100\,\Omega$m
- Vernachlässigung der Impedanzen folgender Elemente: Fehlerstelle; vorgelagertes Mittelspannungsnetz; Schaltgeräte; Wandler; Kontakte; Verbindungen in den Schaltanlagen
- Vernachlässigung der Vorbelastung des Niederspannungsnetzes

Bild 4. (oben) Fehlerspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Fehlerstelle, $\underline{Z}_{M0} = R_{Mi}$
$A_L/A_N = 120/120$; $\underline{Z}_{M0} = R_{Mi} = 25\,\Omega$; $l_i = 33$ m

Bild 5. (unten) Fehlerspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Fehlerstelle; $\underline{Z}_{M0} < R_{Mi}$; $A_L/A_N = 120/120$; $\underline{Z}_{M0} = 1\,\Omega$; $R_{Mi} = 25\,\Omega$; $l_i = 33$ m

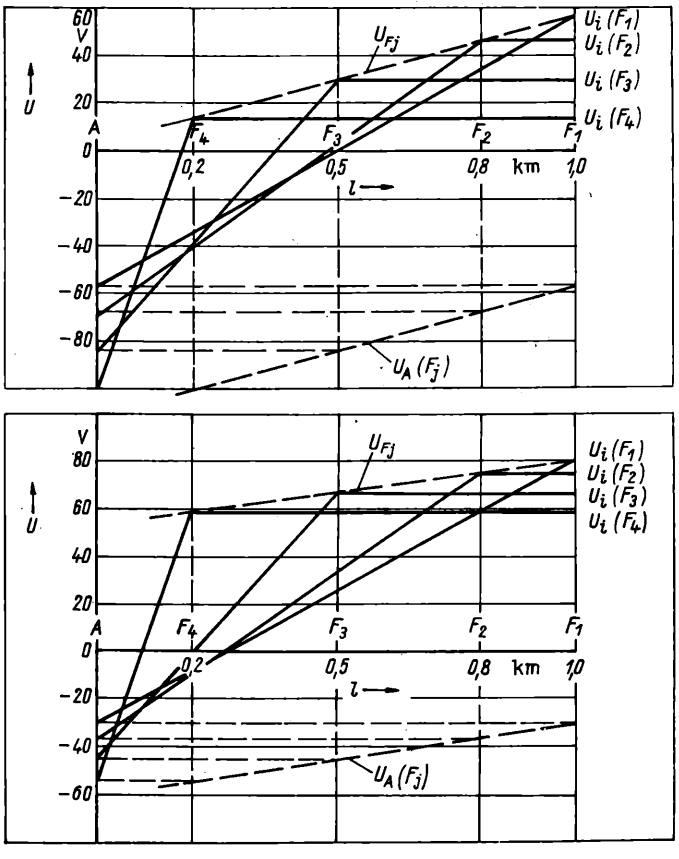


Bild 6. Fehlerspannung in Abhängigkeit vom Leiterseilquerschnitt;
$A_L = A_N$; Fehler am Leitungsende
——— $\underline{Z}_{M0} = R_{Mi} = 25\,\Omega$
····· $\underline{Z}_{M0} = 1\,\Omega$, $R_{Mi} = 25\,\Omega$, $l_g = 1$ km, $l_i = 33$ m

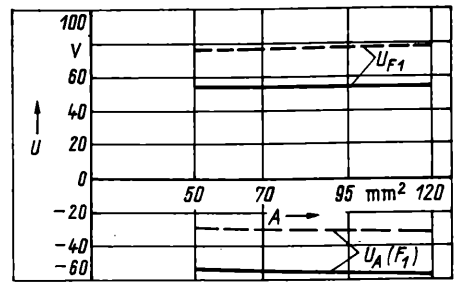
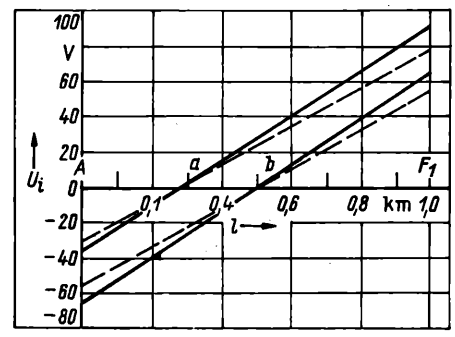


Bild 7. Fehlerspannungsverlauf bei unterschiedlichen Leiterquerschnittsverhältnissen
a) $\underline{Z}_{M0} = 1\,\Omega$, $R_{Mi} = 25\,\Omega$
b) $\underline{Z}_{M0} = R_{Mi} = 25\,\Omega$
——— $A_L/A_N = 120/70$
····· $A_L/A_N = 120/120$
$l_i = 33$ m



3.2. Einfluß der Fehlerstelle

Im Bild 4 ist der Fehlerspannungsverlauf für verschiedene Fehlerstellen dargestellt. Erwartungsgemäß treten für einen Fehler am Leitungsende bei gleichen Erdungsimpedanzen gleichhohe Werte der Spannung an der Fehlerstelle und in der Station auf. Das Fortschreiten der Fehlerstelle vom Leitungsende in Richtung der Transformatorstation bewirkt in der Station eine Erhöhung und an der Fehlerstelle eine Verringerung der Fehlerspannung. Hierbei treten in der Station die maximalen Werte der Fehlerspannung (>65 V) auf. Diese werden jedoch aufgrund der für diese Fehlerstellen vorhandenen Nullungsfähigkeit in der Abschmelzzeit der NH-Sicherung abgeschaltet. Werden demgegenüber mehrere in der Station abgehende Stromkreise hinsichtlich ihrer Kettenimpedanz $\underline{Z}_k$ berücksichtigt ($\underline{Z}_{M0} = 1\,\Omega$), so erhält man bei sonst gleichen Ausgangsdaten die im Bild 5 dargestellten Fehlerspannungsverläufe. Der maximale Wert der Fehlerspannung tritt bei einem Fehler am Ende der Leitung unmittelbar an der Fehlerstelle auf und liegt im allgemeinen über 65 V. Dieser Fehlerfall ist insofern als kritisch einzuschätzen, da infolge der verlorengegangenen Nullungsfähigkeit in den bestehenden Ortsnetzen für diese Fehlerstelle eine Abschaltung durch die NH-Sicherung nicht immer gesichert ist. Daher wird in den nachfolgenden Betrachtungen von dieser Fehlerstelle ausgegangen.

3.3. Einfluß der Leitungsbelegung

Der Einfluß der Leitungsbelegung auf die Fehlerspannung an der Fehlerstelle und in der Station ist abhängig von dem Verhältnis Nulleiter- zu Außenleiterquerschnitt. Er ist bei Querschnittsgleichheit gering (siehe Bild 6). Ist der Nulleiterquerschnitt dagegen kleiner als der Außenleiterquerschnitt — nach [14] ist die Belegung Al 3 × 120/70 grundsätzlich möglich — treten im Ausläuferbereich stets Fehlerspannungen über 65 V auf (siehe Bild 7).

3.4. Einfluß der Erdung des Nulleiters

Der Einfluß der Spannweite bei konstanter Leitungslänge, der Leitungslänge bei konstanter Spannweite und der Masterdungsimpedanz auf die Fehlerspannung an der Fehlerstelle für einen Fehler am Leitungsende ist in den Bildern 8 bis 10 aufgezeigt. Ausgehend von diesen Darstellungen kann geschlußfolgert werden, daß diese Faktoren nur für große Verhältnisse von $\underline{Z}_{M0}/R_{Mi}$ einen merklichen Einfluß auf die Höhe der Fehlerspannung aufweisen.

Einen Vergleich der Erdungsarten — konzentrierte Einzelerdung und Erdung des Nulleiters durch Mastfundamenterder — hinsichtlich des Fehlerspannungsverlaufs wurde im Bild 11 vorgenommen. Für die betrachteten Beispiele weist der Vergleich aus, daß nur in dem Fall, wenn die Fehlerstelle am geerdeten Endmast und dessen Erdungswiderstand gleich dem an der Station ist, annähernd gleiche Fehlerspannungen auftreten. In allen anderen, den praktischen Verhältnissen entsprechenden Fällen mit $R_{Mi}/\underline{Z}_{M0} > 1$ und beliebigem Fehlerort sind die Vorteile der Erdung des Nulleiters durch Mastfundamenterder infolge der Kettenleiterwirkung erkennbar.

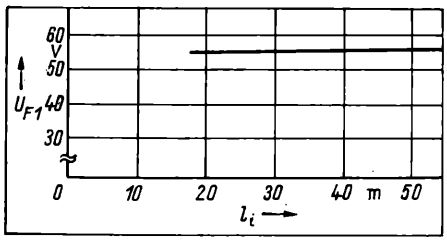


Bild 8. Fehlerspannung in Abhängigkeit von der Spannweite bei konstanter Gesamtlänge; Fehler am Leitungsende
A_L/A_N = 120/120
$\underline{Z}_{M0}$ = R_{Mi} = 25 Ω
l_g = 1 km

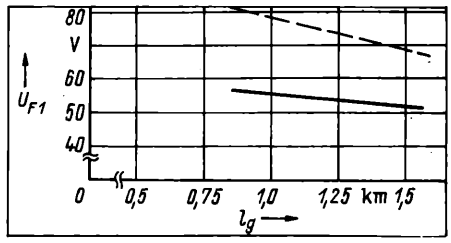


Bild 9. Fehlerspannung in Abhängigkeit von der Leitungslänge bei konstanter Spannweite; Fehler am Leitungsende
A_L/A_N = 120/120
——— $\underline{Z}_{M0}$ = R_{Mi} = 25 Ω
····· $\underline{Z}_{M0}$ = 1 Ω; R_{Mi} = 25 Ω
l_i = 33 m

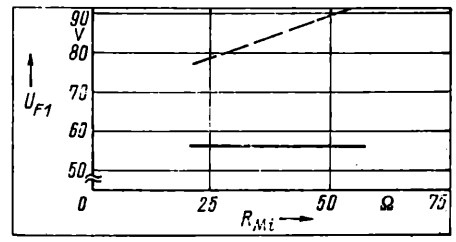


Bild 10. Fehlerspannung in Abhängigkeit von der Masterdungsimpedanz, Fehler am Leitungsende
A_L/A_N = 120/120
——— $\underline{Z}_{M0}$ = R_{Mi}
····· $\underline{Z}_{M0}$ = 1 Ω
l_g = 1 km
l_i = 33 m

Die Fehlerspannungsverläufe sind gegenüber denen bei konzentrierter Einzelerdung flacher und beginnen an der Fehlerstelle mit einem geringeren Spannungswert.

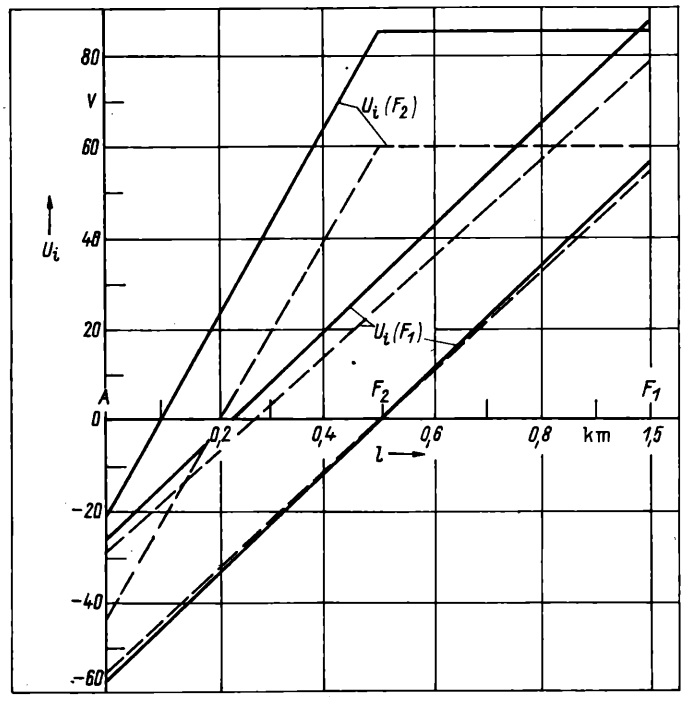
4. Schlußfolgerungen

Der Nachweis zur Einhaltung der Abschaltbedingung nach [13] sowie die Überprüfung des Nichtauftretens einer Gefährdungsspannung beim Nichteinhalten der Abschaltbedingung für von der Transformatorstation entfernte Leitungsabschnitte erfordert die Berechnung möglichst genauer einpoliger Erdkurzschlußströme und Fehlerspannungsverläufe der Nulleiter-Mast-Ketten, die durch ein modernes Niederspannungsfreileitungsnetz gegeben sind.

Das hier auf Niederspannungsfreileitungen, deren Nulleiter an 2 bis zu einer beliebigen Anzahl Erder angeschlossen sein kann, angewandte Berechnungsverfahren gestattet die rationelle Ermittlung des Fehlerspannungsverlaufs für beliebige Leitungsbelegung, Fehlerstellen und Erdungswiderstände der Station, aller Maste und Potentialausgleichssysteme. Ein Vergleich von Berechnungswerten mit Meßergebnissen des einpoligen Erdkurzschlußstromes und des Fehlerspannungsverlaufs in einem Ortsnetz ergab eine gute Übereinstimmung. Die Frage nach der maximalen Fehlerspannung in Abnehmeranlagen bei Fehlern im Netz kann somit beantwortet werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß in ungünstigen Fällen die Berührungsspannungen den berechneten Fehlerspannungen (im Regelfall 75 bis 95 V bei Fehler am Leitungsende) entsprechen können. Eine wesentliche Verringerung der Fehlerspannung ist nur durch entsprechende Vergrößerung des Nulleiterquerschnittes gegenüber dem Außenleiterquerschnitt möglich. Eine Verringerung der Fehlerspannung auf $\leqq$ 50 V allein durch Erdungsmaßnahmen selbst bei gleichen Erdungsimpedanzen an Fehlerstelle und Station ist nicht zu realisieren. Gegenüber der Ausführung der konzentrierten Erdung konnte der günstige Einfluß der Erdung des Nulleiters über die Mastfundamenterder bezüglich der Absenkung der maximalen Fehlerspannung nachgewiesen werden.

Die Ermittlung des einpoligen Erdkurzschlußstromes auf der Grundlage des abgeleiteten Modelles und der Vergleich mit Werten, die auf der Grundlage der symmetrischen Komponenten nach [4] mit einem Erdübergangswiderstand $R_{\ddot{u}} = 0$ berechnet wurden, weisen aus, daß die Werte nach [4] in Abhängigkeit von der Leitungsbelegung und den Erdungsverhältnissen um 16 bis 27 % zu groß sind. Das für die Bestimmung der Abschaltströme zur Auswahl der maximalen Schmelzeinsatz-Nennströme in der Praxis benutzte Verfahren auf der Grundlage der Schleifenimpedanz der Leitung nach [14] ergibt zu kleine Erdkurzschlußströme. Die nullungsfähige Leitungslänge kann unter Zugrundelegung des tatsächlichen Erdkurzschlußstromes nach den Gln. (1), (5) und (17) demgegenüber vergrößert werden, was sich aufwandsminimierend auswirkt.

Bild 11. Fehlerspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Erdungsart
A_L/A_N = 70/70
l_i = 33 m
——— Einzelerder (2 Erder) $\underline{Z}_{M0}$ = 1 Ω, R_{Mn} = 4 Ω
····· Kettenleiter (31 Erder) $\underline{Z}_{M0}$ = 1 Ω, R_{Mi} = 25 Ω
——— $\underline{Z}_{M0}$ = R_{Mn} = 4 Ω
····· $\underline{Z}_{M0}$ = R_{Mi} = 25 Ω



Literatur

[1] TGL 200-0603/03. Erdung in elektrotechnischen Anlagen, Starkstromanlagen. Ausgabe 5.74 und 1. Änderungsblatt

[2] *Nerger, D.:* Die Erdung von Niederspannungsfreileitungen. Energietechnik Leipzig 29 (1979) 5, S. 189 – 195

[3] *Nerger, D.:* Erdungsanschluß von Spannbetonmasten für Nieder- und Mittelspannungsfreileitungen. STANDARDISIERUNG UND NEUERERBEWEGUNG ENERGIE, Berlin 21 (1980) 10, S. 13 – 19

[4] TGL 200-0604/02. Berechnung von Kurzschlußströmen, Drehstromanlagen. Ausgabe 3.76

[5] *Löbel, O.:* Erdung, Nullung, Schutzschaltung. Berlin: Verlag von Julius Springer 1933

[6] *Schrank, W.:* Schutz gegen Berührungsspannungen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1958

[7] *Müller, R.:* Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung in Niederspannungsanlagen (VEM-Handbuch). Berlin: VEB Verlag Technik 1981

[8] *Kloeppel, W.; Fiedler, H.:* Kurzschluß in Elektroenergiesystemen Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969

[9] *Koettnitz, H.: Pundt, H.:* Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze. Mathematische Grundlagen und Netzparameter. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973

[10] *Kindler, H.: Döhler, A.:* Berechnung der Erdfehlerstromaufteilung in Erdseil-Mast-Ketten. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 10, S. 512 – 515

[11] Projektierungsvorschrift 1.8/9.79. Kurzschlußströme in Drehstrom-Anlagen, Teil 1. Resistanz- und Reaktanzwerte (IEA Berlin)

[12] TGL 190-614/22. Starkstromfreileitungen; Bauweise für Nennspannungen bis 1000 V; Spannbetonmaste. Ausgabe 11.79

[13] TGL 200-0602/03. Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen; Schutz beim Berühren betriebsmäßig nicht unter Spannung stehender Teile. Ausgabe 9.82

[14] TGL 190-614/21. Starkstromfreileitungen; Bauweise für Nennspannung bis 1000 V; Berechnung. Ausgabe 1.80

EA 5329

Quantitative Bestimmung des Schutzniveaus der Schutzmaßnahme Nullung in 220/380-V-Industrieanlagen[1)]

K.-G. Schneider, KDT; K.-H. Freytag, KDT, Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Um die Wirkung der Schutzmaßnahme Nullung quantitativ bestimmen zu können, wurden in den Jahren 1977 und 1978 Messungen zur Höhe und Verteilung von Berührungsspannungen in 5 Industriebetrieben im Bezirk Dresden durchgeführt und ausgewertet. Vorgestellt werden einige Ergebnisse, die insbesondere den unterschiedlichen Einfluß des in betriebenen Anlagen realisierten Potentialausgleichs (zentral und örtlich) auf die Schutzwirkung der Nullung ausweisen.

1. Untersuchungen zum Schutzniveau bei Körperschluß

Der Fehler Körperschluß wurde an Haupt- bzw. Unterverteilungen und an ortsfesten Arbeitsmitteln (Endverbrauchsgeräten) technisch simuliert und die Höhe der Berührungsspannungen sowohl an der Kurzschlußstelle als auch an benachbarten inaktiven Teilen bestimmt. Zur Fehlersimulation wurde ein speziell für Industrieanlagen gebautes Kurzschlußschaltgerät (KzS) eingesetzt, mit dem an ausgewählten Fehlerstellen (z.B. Motorengehäuse) ein vollkommener — bzw. ein über einen Vorwiderstand begrenzter — Kurzschluß für eine Zeitdauer von 100 ms realisiert werden kann.
Im KzS ist eine bekannte Gerätekonzeption, u.a. [1], für die Einsatzbedingungen in Industrienetzen modifiziert worden [2]. Von den während der Fehlersimulation meßtechnisch ermittelten Leerlaufberührungsspannungen (U_{B0}) wurden durch die vereinfachte Annahme eines spannungsunabhängigen Ersatzwiderstandes des Menschen $R_M = 1000\,\Omega$ die Werte der Berührungsspannung U_B bestimmt. Aus den mittleren Strom-Zeit-Kennlinien der für den Kurzschlußschutz maßgebenden Überstromschutzeinrichtung wurde die Abschaltzeit t_a bestimmt. Sie entspricht bei Berührung des Menschen im realen Fehlerfall der Einwirkzeit des elektrischen Stromes. Charakterisieren lassen sich die untersuchten Industrieanlagen durch die Merkmale

- bebautes Gebiet
- Kabelnetze mit großer Abnehmerdichte
- Vielzahl von metallenen Rohrsystemen (z.B. Wasserversorgung)

Berührungsspannungen wurden sowohl direkt an der Kurzschlußstelle (z.B. Motorengehäuse) als auch zwischen inaktiven Teilen in der Nähe der Kurzschlußstelle ermittelt.
Weiterhin wurden für Vergleichsmessungen einige Veränderungen vorgenommen, z.B. die Auftrennung des künstlichen zentralen Potentialausgleichs. Untersucht wurden ausschließlich ortsfeste Anlagen/Geräte. Der Schutz des Menschen vor gefährlichen elektrischen Durchströmungen bei Körperschluß wurde meßtechnisch über Berührungsspannungen quantifiziert und zahlenmäßig als Wirksamkeitsmaß WM bewertet. Das damit ausgewiesene Schutzniveau basiert auf mathematisch statistischen Analysen zur Höhe und Verteilung der Berührungsspannung [3].
WM gibt die Wahrscheinlichkeit p bzw. die Schätzung $\hat{p}$ für das Auftreten von Berührungsspannungen bei Körperschluß an, die unterhalb bestimmter Grenzwerte (z.B. $U_B < 65$ V oder $U_B < 50$) liegen. Für die Bewertung gilt $0 \leqq WM \leqq 1$. Die sicherheitstechnisch beste Bewertung ist $WM = 1$, in diesem Fall wurden ausschließlich Berührungsspannungen kleiner als die zulässigen Werte ermittelt. Der reale Anlagenbetrieb läßt $WM \leqq 1$ erwarten.

Dr.-Ing. *Karl-Gerhard Schneider* ist Leiter des Arbeitsgebietes „Elektroenergieanlagen" im ASMW und Mitglied des FUA 1.1 „Errichtung von Starkstromanlagen bis 1000 V" im FV Elektrotechnik der KDT. Er war zum Zeitpunkt der Messungen außerplanmäßiger Aspirant an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik.

Dr.-Ing. *Karl-Heinz Freytag* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden.

[1)] Vortrag zur Erdungstagung im Dezember 1982 in Gera.

2. Ergebnisse

2.1. Originalanlage

In Tafel 1 sind statistische Meßzahlen aus der empirischen Verteilung der Berührungsspannung angegeben. Die Häufigkeitsverteilungen von U_B für die Gesamtanlage sind im Bild 1 grafisch dargestellt. Wie aus Bild 1 zu entnehmen ist, sind in der Klasse < 10 V bereits 50% (Kurzschlußstelle direkt) und etwa 65% (Gesamtanlage) aller U_B-Werte enthalten. Das Auftreten von $U_B > 65$ V ist mit $\hat{p} < 0{,}08$ in der Gesamtanlage zu erwarten.
Das Schutzniveau sinkt um etwa $\hat{p} = 0{,}1$ bei Bezug auf 50 V im Vergleich zu WM ($U_B < 65$ V). Das heißt auch, daß das Auftreten von $50\text{ V} < U_B < 65\text{ V}$ mit $\hat{p} = 0{,}1$ in diesen Industrieanlagen bei Körperschluß zu erwarten ist. Eine gefährliche elektrische Durchströmung ist auf Grund der paarweisen Realisierungen von Berührungsspannung und Abschaltzeit mit $\hat{p} = 0{,}005$ in der Gesamtanlage zu erwarten.

Tafel 1. Wirksamkeitsmaß WM für die Berührungsart Hand-Fuß (Zahlenwerte für WM wurden aus der empirischen Verteilung von U_B berechnet)

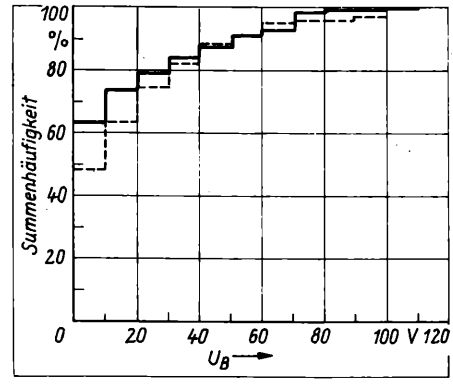
Maßzahlen und Bewertung mit WM	Originalanlage Kurzschlußstelle direkt	Originalanlage Gesamtanlage
Mittelwert	25,8 V	16,6 V
Maximalwert	107 V	108 V
$WM\,(U_B < 65\text{ V}) = \hat{p}$	0,962	0,923
$WM\,(U_B < 50\text{ V}) = \hat{p}$	0,865	0,835
WM bezogen auf $U_G = f(t_a)$	1	0,995

Anmerkung: $U_G = f(t_a)$ zeitabhängige Gefährdungsspannung nach TGL 200-0603/03

Bild 1. Summenhäufigkeitsverteilung der U_B-Werte
——— Gesamtanlage
····· Kurzschlußstelle
Aus der empirischen Verteilung wird das Wirksamkeitsmaß WM nach [4] berechnet:

$$WM = \hat{p} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{j=k}^{k+m} h_j(u_B)$$

$h_j(u_B)$ Summenhäufigkeit der beobachteten U_B-Werte
n Stichprobenumfang
k erste Klasse
$k+m$ letzte Klasse
mit unzulässig hohen U_B-Werten



2.2. Originalzustand und Trennung des sichtbaren, künstlichen zentralen Potentialausgleichs

An den ausgewählten Meßorten wurden nach Messungen im Originalzustand der Anlage weitere nach Trennung aller sichtbaren künstlichen Potentialausgleichverbindungen in Stationsnähe bzw. in der Nähe der Hauptschaltanlage durchgeführt.
Die Ergebnisse der Datenanalyse sind aus den grafischen Darstellungen für U_B aus den Bildern 2 und 3 zu entnehmen.
Charakteristisch ist, daß die Klassenbesetzung bis 5 V von U_B nach erfolgter Trennung um 20% absank und in der Klasse 35 V bis 40 V die einzige Realisierung von U_B eingeschrieben werden konnte. Damit ist eine deutliche Verschiebung der Klassenbesetzungen in Richtung der größeren Werte gegeben.
Der Mittelwert $\bar{x}\,(U_B)$ ist nach der Trennung jedoch nur um etwa 13% höher; damit aber noch um 23% niedriger als für ländliche Netze [1]. Diese Differenz ist dadurch bedingt, daß in ländlichen Netzen der Anteil von künstlichen Potentialausgleichverbindungen gegenüber den natürlichen größer ist. Demgegenüber sind bei Industrieanlagen grundsätzlich der natürliche Potentialausgleich und die zwangsgeerdeten Betriebsmittel dominierend.

2.3. Originalzustand und Ausführung eines zusätzlichen örtlichen Potentialausgleichs

Analysiert werden Meßorte, für die sowohl im Originalzustand als auch nach Ausführung eines künstlichen Potentialausgleichs mittels einer Cu-Leitung (Querschnitt 6 mm²) Messungen erfolgten.

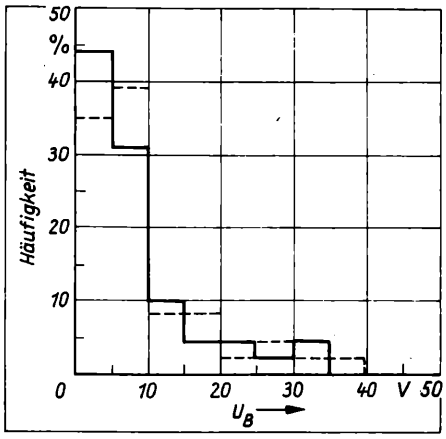


Bild 2. Relative Häufigkeit der beobachteten U_B-Werte
——— Originalanlage
····· nach Trennung des sichtbaren künstlichen zentralen Potentialausgleichs

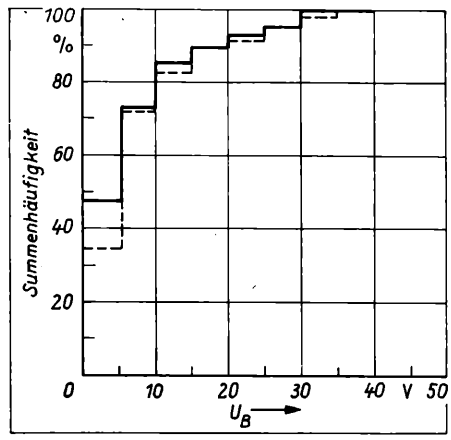


Bild 3. Summenhäufigkeit der beobachteten U_B-Werte
——— Originalanlage
····· nach Trennung des sichtbaren künstlichen zentralen Potentialausgleichs

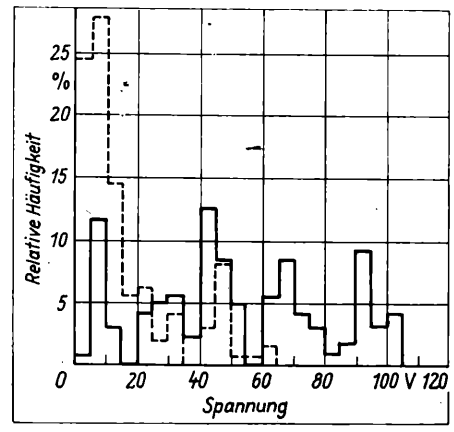


Bild 4. Relative Häufigkeit der beobachteten U_B-Werte
——— Originalanlage
····· nach provisorischer Ausführung eines künstlichen örtlichen Potentialausgleichs

Diese zusätzliche Potentialausgleichleitung wurde provisorisch örtlich zwischen dem simulierten körperschlußbehafteten Betriebsmittel und einem benachbarten inaktiven Teil geschaffen.
Deutlich ist im Bild 4 zu erkennen, daß die Klassenbesetzungen der Klassen < 30 V nach erfolgten Potentialausgleich stark zunehmen. Die drastische Verschiebung der Realisierungen von U_B in Richtung kleinerer Klassen ist auch aus der Summenhäufigkeitsverteilung im Bild 5 abzulesen.
Der Mittelwert $\bar{x}\,(U_B)$ sinkt nach erfolgtem Potentialausgleich auf 31 %. Der Einfluß der zwischen inaktiven Teilen innerhalb einer Werkhalle herbeigeführten örtlichen Potentialausgleichverbindungen ist deutlich ablesbar. Damit ist der Nachweis erbracht, wie durch einen örtlichen Potentialausgleich, der in Industrieanlagen auch natürlich erreichbar ist, Gefährdungen bei Körperschluß wirksam abgebaut werden. Weiter wurde deutlich, daß der zentrale Potentialausgleich in Stationsnähe bzw. in Nähe der Hauptschaltanlage keine bzw. nur geringe Wirkung hinsichtlich der Absenkung von U_B hat.

2.4. Nichteinhaltung der Abschaltbedingung bei Verbrauchsgeräten mit hohem Anlaufstrom

Beim Einsatz von Verbrauchsgeräten, deren Motore einen hohen Anlaufstrom aufweisen ($I_A > 5\ I_{nM}$), kann die Einhaltung und der Nachweis der Abschaltbedingung auf Schwierigkeiten stoßen. Das führte in industriellen Niederspannungsnetzen zu hohen Nennströmen (I_{nSi}) der eingesetzten NH-Sicherungen, bei denen die Abschaltbedingung nicht erfüllt werden kann. In diesen Fällen ist es nicht möglich, I_{nSi} zu verringern, da dann durch den hohen Anlauf- bzw. Anzugstrom die Überstromschutzeinrichtung auslösen würde. Diese Probleme treten insbesondere bei Pumpstationen und bei Krananlagen mit einer Motorleistung $P_{nM} > 50$ kW auf. Darüber hinaus ist in diesen Anlagen der geforderte Nachweis der Abschaltbedingung [5] für den Betreiber problematisch. In einer Pumpstation und in zwei Krananlagen verschiedener Betriebe wurde die angegebene Meßtechnik zur Ermittlung der bei einpoligem Kurzschluß auftretenden Berührungsspannungen eingesetzt. Durch den Betreiber dieser Anlage war der Nachweis der Abschaltbedingung

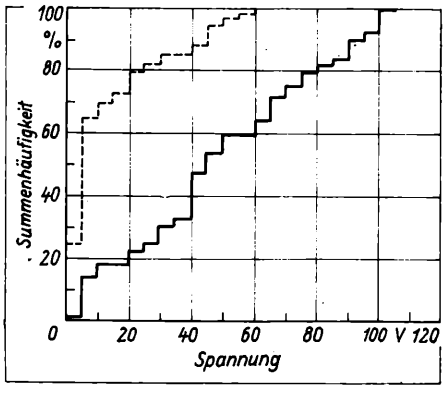


Bild 5. Summenhäufigkeit der beobachteten U_B-Werte
——— Originalanlage
····· nach provisorischer Ausführung eines künstlichen örtlichen Potentialausgleichs

Tafel 2. In Anlagen mit mehrfachem natürlichem Potentialausgleich (örtlich) ermittelte maximale Werte der Berührungsspannung bzw. des Längsspannungsabfalls bei Körperschluß

Anlage	Abschaltfaktor und Nachweis nach [5]	Maximalwerte für U_B bzw. für den Längsspannungsabfall auf dem Nulleiter
– Betrieb		
– Pumpstation im Kellergeschoß	$k = 5$, nicht erfüllt	20 V
– Wasserwerk		
– Krananlage in Stahlbetonhalle	$k = 1{,}25$, nicht erfüllt	16 V
– Stahlwerk		
– Krananlage im Freien	$k = 5$, nicht erfüllt	37 V
– Maschinenfabrik		

mittels Netzschleifenmeßgerätes NSM II negativ (siehe Tafel 2). Über 90 % der Meßwerte in einem Wasserwerk wiesen bei Simulation eines Körperschlusses an einer Pumpe Werte < 10 V aus. Alle Meßwerte lagen unter 20 V (Tafel 2).
Die Krananlage in der Maschinenfabrik steht auf einem Lagerplatz im Freien. Auf der Kranbrücke wurden im Fehlerfall maximal 11 V gemessen. Gegenüber einem Stahlbetonmast im Betriebsgelände wurde der Maximalwert $U_B = 37$ V registriert. In der Krananlage des Stahlwerkes wurde der Längsspannungsabfall entlang der Kranbahn gemessen, da infolge der umgebenden Stahlkonstruktionsteile keine Berührungsspannungen ermittelt werden konnten. Bild 6 zeigt den Übersichtschaltplan der Krananlage. Die Messungen ergaben, daß selbst bei Fehlern an der Einspeisestelle nicht das 1,25fache des unteren Einstellwertes für den magnetischen Überstromauslöser des Kranhauptschalters erreicht wird. Der Kranhauptschalter ist vom Typ ELSUG mit einem Einstellbereich des magnetischen Überstromauslösers von 800 A bis 1200 A. Anfahr- und Bremsvorgänge haben kaum Einfluß auf die Höhe des Kurzschlußstromes. Als maximale Berührungsspannung traten 16 V an der auf der Kranbrücke befindlichen Fehlerstelle auf, wenn sich der Kran bei Fehlereintritt an der Einspeisestelle befindet (Bild 7). In den Krananlagen wird in Verbindung mit dem Potentialausgleich gewährleistet, daß im Fehlerfall keine Gefährdungsspannungen auftreten. Es besteht aus sicherheitstechnischer Sicht (Vermeidung gefährlicher elektrischer Durchströmungen) keine Notwendigkeit zur Einhaltung der Abschaltbedingung. In diesen Fällen wird durch den natürlich ausgeführten Potentialausgleich eine hohe Schutzwirkung erreicht. Die im Fehlerfall ermittelten Werte der Berührungsspannung zeigen, daß keine gefährlichen Berührungsströme auch unter Beachtung extrem langer Einwirkzeit > 1 s auftreten können. Damit stellt die möglichst kurze Ausschaltzeit eine sicherheitstechnische Redundanz dar. Von der darauf abgezielten Forderung auf Einhaltung und Nachweis der Abschaltbedingung sollte dann Abstand genommen werden, da sie nur durch zusätzliche und gegebenenfalls erhebliche materialökonomische Aufwendungen zu realisieren ist. Zusätzliche Aufwendungen würden sich bei diesen Krananlagen zur Einhaltung der Abschaltbedingung ergeben, z. B.

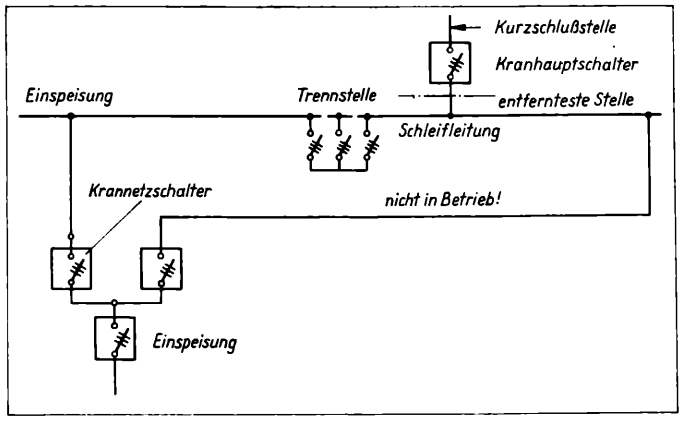


Bild 6. Krananlage in einer Stahlbetonhalle (Übersichtsschaltplan)

durch

- Maßnahmen zur Erhöhung des Kurzschlußstromes durch parallele Kabelzuführung zwischen Transformatoren und Einspeiseschaltern
- Anwendung kombinierter Schutzmaßnahmen.

3. Wertung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

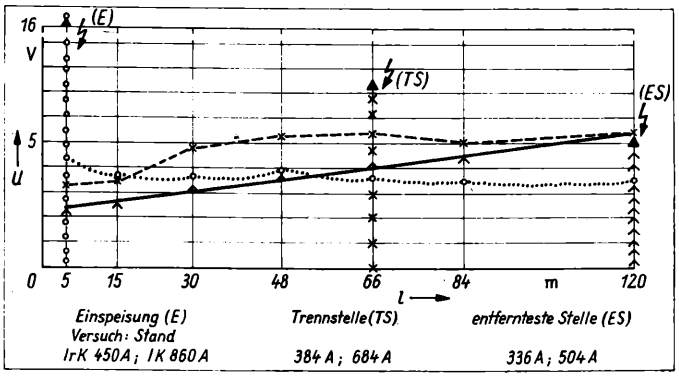
3.1. Wirksamkeit der Nullung

Die für die Industrieanlagen ermittelten Wirksamkeitsmaße (WM) weisen aus, daß bei Körperschluß in 220/380-V-Netzen eine Gesundheitsschädigung des Menschen durch elektrische Durchströmung weitgehend ausgeschlossen ist. Der geringe Unterschied zwischen dem allein nach der Höhe der aufgetretenen Berührungsspannung ermittelten Schutzniveau und dem auf Basis zeitbezogene Berührungsspannung zeigt, daß die Ausführung der Nullung nach TGL 200-0602/03 in Verbindung mit dem natürlichen gegebenen Potentialausgleich in Industrieanlagen die Höhe und Verteilung der Berührungsspannung auf für das Auslösen des Herzkammerflimmerns ungefährliche Werte erwirkt.

3.2. Potentialausgleich in Verbindung mit der Nullung

Die Meßergebnisse bezüglich der Originalanlage und der für den Erkenntnisgewinn bewußt herbeigeführte Trennung des sichtbaren künstlichen zentralen Potentialausgleichs weisen aus, daß die Werte der Berührungsspannung nach erfolgter Trennung nur geringfügig (etwa 13 %) höher liegen. Davon ist abzuleiten, daß der natürliche Potentialausgleich und die zwangsgeerdeten Betriebsmittel dominieren. Aus sicherheitstechnischer Sicht besteht in vielen Fällen kein Erfordernis zur Durchführung eines künstlichen Potentialausgleichs. Die verstärkte Substitution der bislang durchgängigen metallischen Leitungssysteme durch Plasterzeugnisse wird in der Literatur mitunter als kritische Situation bei der generellen Durchsetzung des Potentialausgleichs angesehen. (Verwendung von plastisolierten Gasrohren oder Plastkabeln ohne metallische Mäntel, elektrisch nicht leitfähige Wasserrohre). Dabei ist zu beachten, daß das

Bild 7. Längsspannungsabfall U entlang der Schleifleitung (PEN)
Gesamtlänge der Krananlage: 120 m
Der Standort des Kranes bei technisch simulierten Körperschluß ist gekennzeichnet mit
E Einspeisestelle (Kurve o o o)
TS Trennstelle (Kurve x x x)
ES entferntste Stelle (Kurve ▲ ▲ ▲)



für Industrienetze kaum nachteilige Auswirkungen auf die Schutzwirkung einer Schutzmaßnahme hat, da hier die große Anzahl der natürlichen Erder mit potentialsteuernder Wirkung weiterhin besteht. Das gilt grundsätzlich für städtische Netze. Nach TGL 200-0602/03, Abschnitt 11, wird auch lediglich der Zusammenschluß von metallischen in sich elektrisch leitend verbundenen Leitungssystemen und zusammenhängenden, elektrisch leitend verbundenen Gebäudekonstruktionen und Fundamenterder mit dem Schutzleiter innerhalb von Bauwerken gefordert. Das ist ökonomisch zu vertreten, da keine schutztechnische Notwendigkeit für die Verbindung von entfernten leitfähigen Konstruktionsteilen außerhalb von Gebäuden mit beispielsweise der zentralen Potentialausgleichschiene in Gebäuden besteht. Durch Errichter bzw. Betreiber ist zukünftig noch mehr darauf zu achten, daß keine materialökonomischen Mehraufwendungen ohne sicherheitstechnisches Erfordernis erfolgen. Beispielsweise wurden in den untersuchten Industrieanlagen mehrfach künstliche Potentialausgleichleitungen $\geqq 25$ mm² Al über größere Entfernungen vorgefunden. In diesen Fällen wurde bzw. wird der Potentialausgleich nicht als eine raum- bzw. gebäudebezogene Maßnahme verstanden und ausgeführt. Das steht im Widerspruch zum sicherheitstechnischen Wirkprinzip des Potentialausgleichs. Mit der Festlegung in [5] zur grundsätzlich leitwertgleichen Ausführung von Potentialausgleichleitung/Schutzleiter (d.h. auch < 10 mm² Cu bzw. < 16 mm² Al) wurde ab 1. 10. 82 eine eindeutige Regelung getroffen, die es durchzusetzen gilt. Besonders wirksam sind die Potentialausgleichverbindungen, die zwischen inaktiven Teilen, z.B. Fundamentbefestigungen von Arbeitsmaschinen, vorgenommen werden. Damit werden die Nulleiter dieser Maschinen parallel geschaltet, wodurch der Längsspannungsabfall am Nulleiter infolge der sich verringernden Fehlerstromimpedanz auch kleiner wird. Das wiederum führt zum Ansteigen des Kurzschlußstromes und damit zur Verbesserung der Abschaltbedingung. Es ist abzuleiten, daß die von außen in ein Gebäude eingeführten inaktiven Teile (z.B. Rohrleitungen) bereits an der Einführungsstelle in den Potentialausgleich einzubeziehen sind. Für neu zu errichtende Anlagen ist das beispielsweise die Verbindung mit dem Fundamenterder nach TGL 33373. Demgegenüber wurde nachgewiesen, daß zentrale Potentialausgleichverbindungen in der Nähe von Transformatoren und Haupt- bzw. Unterverteilungen kaum eine merkliche Verringerung der Berührungsspannung an davon räumlich getrennten Gebäuden bewirken.

3.3. Einhaltung der Abschaltbedingung bei komplizierten Netzbedingungen

Grundsätzlich ist die Einhaltung der Abschaltbedingung wesentlich für die Funktionsfähigkeit der Schutzmaßnahme Nullung und der gesamten elektrotechnischen Anlage. Bisherige Erfahrungen führten in einigen Fällen zu davon abweichenden Regelungen bei Zulassung der Nullung. Dem ist zuzustimmen, wenn das sicherheitstechnisch vertretbar ist und dadurch die ökonomischen Vorteile der Nullung umfassender genutzt werden können. Ausgehend von den bestehenden Problemen bezüglich der Einhaltung und dem Nachweis der Abschaltbedingung bei leistungsstarken Verbrauchsgeräten ($P_{nM} > 50$ kW) mit hohen Anlaufströmen ($I_A > 5\, I_{nM}$) ist die Einhaltung der Abschaltbedingung bei bestehendem Potentialausgleich sicherheitstechnisch nicht erforderlich, sofern Berührungsspannungen kleiner als die zulässigen Grenzwerte gewährleistet werden. Da nach [5] für derartige Fälle nicht auf Einhaltung der Abschaltbedingung verzichtet werden kann, ist eine Ausnahmegenehmigung erforderlich. Damit würde natürlich auch der bisher geforderte Nachweis der Abschaltbedingung durch den Betreiber entfallen, der in leistungsstarken und unruhigen Netzen ohnehin meist problematisch ist.

Literatur

[1] *Freytag, K.-H.:* Probleme der Notwendigkeit und Überprüfung der Nullungsbedingung. Dissertation, TU Dresden 1973
[2] *Schneider, K.-G.:* Dokumentation eines Kurzschlußschaltgerätes KzS. „Beiträge für die Praxis", Heft 35, ZIAS Eigenverlag 1982
[3] *Schneider, K.-G.:* Möglichkeit zur Bestimmung des Schutzniveaus bei Anwendung der Nullung in 220/380-V-Industrie-Anlagen. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 6, S. 310 – 314
[4] *Schneider, K.-G.:* Beitrag zur Quantifizierung des Schutzniveaus der Schutzmaßnahme Nullung am Beispiel von 220/380-V-Industrieanlagen. Dissertation, TU Dresden 1982
[5] TGL 200-0602/03 Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen; Schutz beim Berühren betriebsmäßig nicht unter Spannung stehender Teile. Ausgabe Sept. 1982

EA 5328

Berücksichtigung von Netzeinspeisungen bei Kurzschlußstromberechnungen

W. Schulz, KDT, Leipzig

Bei Kurzschlußstromberechnungen müssen Einspeisungen aus über- oder unterlagerten Nachbarnetzen mit berücksichtigt werden. Die übliche Berechnungsmethodik geht davon aus, das im Kurzschlußfall einspeisende Netz durch eine zeitinvariante Ersatzimpedanz darzustellen und diese aus der Kurzschlußleistung an der Anschlußstelle zu berechnen. Im allgemeinen ist diese Verfahrensweise genau genug, um für die meisten praktischen Aufgaben die richtigen Kurzschlußkennwerte berechnen zu können. Bei bestimmten Netzkonstellationen und Betriebsbedingungen sind jedoch für die Nachbildung von Netzeinspeisungen ganz spezielle, problemorientierte Anpassungen erforderlich, damit reale Ausgangsbedingungen für die Berechnungen vorliegen. Da die Kurzschlußstromermittlung in der Praxis, bedingt durch standardisierte Berechnungsvorschriften, eine Routineangelegenheit ist, werden häufig solche Ausnahmefälle nicht erkannt. An zwei Beispielen wird dargestellt, welche Fehler durch formale Anwendung der TGL-Festlegungen [1] möglich sind.

1. Darstellung vorgeschalteter Netze durch Ersatzimpedanzen

Für die Berücksichtigung des Einflusses von Netzeinspeisungen bei Kurzschlußstromuntersuchungen wird die Ersatzimpedanz des vorgeschalteten Netzes benötigt. Ist diese nicht bekannt — eine exakte Netzäquivalentierung ist in den meisten Fällen zu aufwendig —, so kann ihr Wert mit ausreichender Genauigkeit aus der Kurzschlußleistung S_k'' an der Oberspannungsseite des speisenden Transformators ermittelt werden. Es gilt dafür die bekannte Beziehung

$$Z_N = 1{,}1\,\frac{U_n^2}{S_k''}\,. \tag{1}$$

Verfügt man noch über den $\varkappa$-Wert bzw. das $\left(\frac{R}{X}\right)$-Verhältnis am Anschlußpunkt, so läßt sich die Ersatzimpedanz des übergeordneten Netzes auch als komplexe Größe darstellen

$$\underline{Z}_N = \frac{1{,}1\,U_n^2}{S_k''\sqrt{1+\left(\frac{R}{X}\right)^2}}\left[\left(\frac{R}{X}\right)+j\right]. \tag{2}$$

In den meisten Fällen ist die Kurzschlußleistung an den Netzeinspeisepunkten bekannt. Sie erhält man bei bestehenden Systemen aus den aktuellen Berechnungsunterlagen der Netzbetreiber. Soll S_k'' zur Darstellung einer Netzeinspeisung für Kurzschlußstromberechnungen verwendet werden, so ist vorher zu überprüfen, unter welchen Voraussetzungen bzw. bei welchen Bedingungen diese Kurzschlußleistung am Netzanschlußpunkt ermittelt wurde. Hierbei spielen vor allem der Einfluß von Rückspeisungen und der aktuelle Schaltzustand des vorgeordneten Netzes eine Rolle. Mit besonderer Aufmerksamkeit sind die Einspeiseverhältnisse vermaschter Netze zu betrachten, die an mehreren Stellen mit überlagerten Netzen gekuppelt sind, zum Beispiel die 110-kV-Systeme, die von dem 380/220-kV-Übertragungsnetz gespeist werden. Wegen der Netzgröße kann man oft nur die unmittelbar interessierenden Netzausschnitte für die Berechnung heranziehen, und es muß mitunter die Kurzschlußleistung an der Unterspannungsseite der Transformatoren zur Ermittlung der Ersatzimpedanzen verwendet werden. In solchen Fällen kann die formale Anwendung von Gl. (1) zu erheblichen Fehlern führen, was für das folgende einfache Beispiel gezeigt werden soll.

Im Bild 1 ist ein kleiner Ausschnitt eines vermaschten 110-kV-Netzes dargestellt. Für Probleme der Netzausbauplanung in den unterlagerten 30-kV-Verteilungssystemen muß auch ein Teil des 110-kV-Netzes mit in die Berechnungen einbezogen werden, da auch hier Netzerweiterungen zu erwarten sind.

Folgende Kurzschlußleistungen stehen an den Einspeisestellen (Punkt A, Punkt B im Bild 1) des 110-kV-Teilnetzes zur Verfügung:

Knotenpunkt	S_k'' [MVA]
A	4500
B	5000

Mit Gl. (1) erhält man daraus die Netzersatzimpedanzen, bezogen auf $U_n = 110$ kV:

Knotenpunkt	Z_N [Ω]
A	2,96
B	2,66

Werden diese Ersatzimpedanzen zur Kurzschlußstromberechnung verwendet, so erhält man viel zu große Kurzschlußströme für alle Knotenpunkte des 110-kV-Teilnetzes (max. Fehler +37%) und zum Teil auch noch für einige 30-kV-Sammelschienen der unterlagerten Netze. Die Ursache des Fehlers liegt in den mit Gl. (1) berechneten Ersatzimpedanzen, die für die dargestellte Netzkonstellation nicht richtig sind. Infolge der Vermaschung und der damit vorhandenen, direkten Zusammenschaltung der beiden Einspeisestellen ist in der Kurzschlußleistung S_{k_A}'' ein Anteil von der Netzeinspeisung B und in dem Wert S_{k_B}'' der Einfluß der Netzeinspeisung A mit enthalten. Die Vermaschung des Netzes wird somit bei der Berechnung der Kurzschlußströme doppelt berücksichtigt, und zwar *direkt* in der unmittelbaren Topologie des Netzausschnitts und *indirekt* in den Ersatzimpedanzen Z_{N_A} und Z_{N_B}. Um richtige Ergebnisse zu erhalten, müssen entweder die Kurzschlußleistungen S_{k_A}'' und S_{k_B}'' vor der Umrechnung in Ersatzimpedanzen korrigiert werden, oder es ist eine modifizierte Berechnungsformel für die Bestimmung von Z_{N_A} und Z_{N_B} zu verwenden.

Korrektur der Kurzschlußleistung

Die richtige Kurzschlußleistung für die Ersatzimpedanzbestimmung nach Gl. (1) erhält man, wenn von den vorgegebenen Werten für S_{k_A}'' und S_{k_B}'' jeweils die von der anderen Netzeinspeisung stammenden Beiträge abgezogen werden. Für das im Bild 1 dargestellte Beispiel gilt

$$S_{k_A}''^{(\mathrm{korr})} = S_{k_A}'' - (S_{k_A,1}'' + S_{k_A,2}'') \qquad = \underline{3010\ \mathrm{MVA}} \tag{3}$$

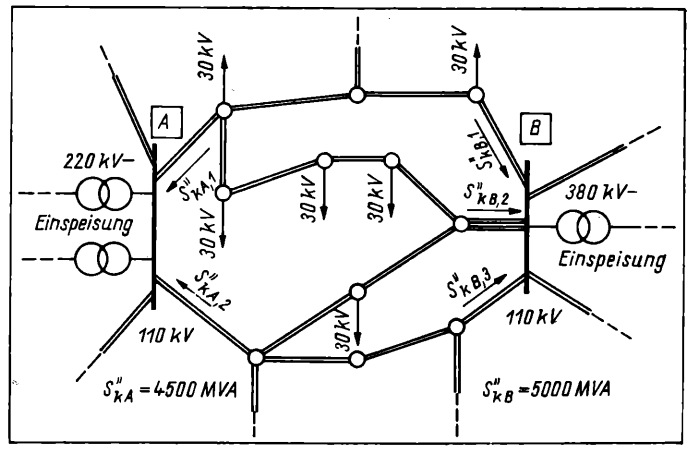
$$S_{k_B}''^{(\mathrm{korr})} = S_{k_B}'' - (S_{k_B,1}'' + S_{k_B,2}'' + S_{k_B,3}'') = \underline{3627\ \mathrm{MVA}}\,. \tag{4}$$

Dieses Verfahren setzt jedoch voraus, daß man die einzelnen Kurzschlußstromanteile der Knotenpunkte A und B genau kennt.

Modifizierte Impedanzberechnung

Bei zwei Netzeinspeisungen in ein vermaschtes System (Bild 1) lassen sich die realen Ersatzimpedanzen aus folgenden Beziehungen

Bild 1. Ausschnitt eines zweiseitig gespeisten, vermaschten 110-kV-Netzes



Dipl.-Ing. *Wilfried Schulz*, Institut für Energetik/Zentralstelle für rationelle Energieanwendung, Leipzig; Mitglied der Arbeitsgruppe 1 des FUA 1.19 „Berechnungsverfahren in elektrotechnischen Anlagen".

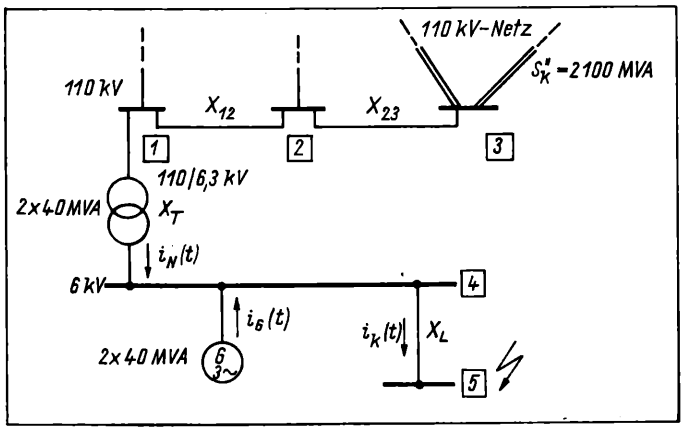


Bild 2. Beispielnetz mit Generator- und Netzeinspeisung

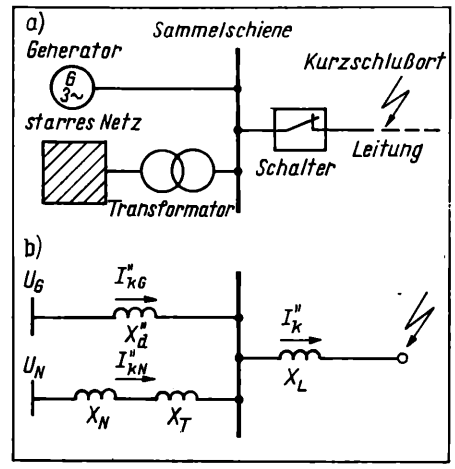


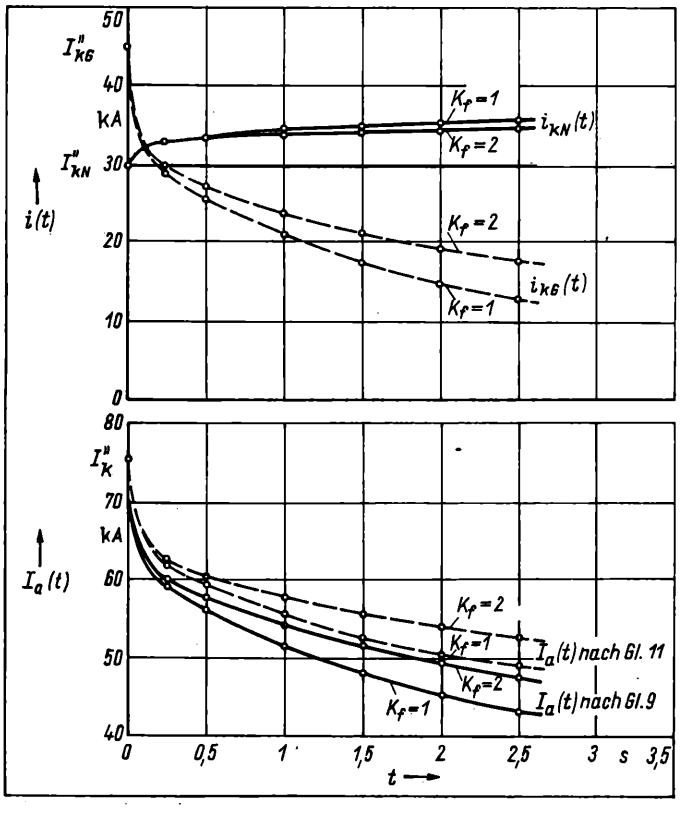
Bild 3. Kurzschlußströme im Bereich einer Generator- und Netzeinspeisung
a) Übersichtsschaltplan
b) Ersatzschaltbild

direkt bestimmen:

$$Z_{N_A} = \frac{2\left(\frac{1{,}1\,U_n^2}{S''_{k_A}}\right)Z_{AB} - Z_{AB}^2 + \sqrt{Z_{AB}^4 + 4\,Z_{AB}^2\left(\frac{1{,}1\,U_n^2}{S_{k_A}}\right)\left(\frac{1{,}1\,U_n^2}{S''_{k_B}}\right)}}{2\left(Z_{AB} - \frac{1{,}1\,U_n^2}{S''_{k_A}} + \frac{1{,}1\,U_n^2}{S''_{k_B}}\right)} \tag{5}$$

$$Z_{N_B} = \frac{2\left(\frac{1{,}1\,U_n^2}{S''_{k_B}}\right)Z_{AB} - Z_{AB}^2 + \sqrt{Z_{AB}^4 + 4\,Z_{AB}^2\left(\frac{1{,}1\,U_n^2}{S''_{k_A}}\right)\left(\frac{1{,}1\,U_n^2}{S'_{k_B}}\right)}}{2\left(Z_{AB} - \frac{1{,}1\,U_n^2}{S_{k_B}} + \frac{1{,}1\,U_n^2}{S_{k_A}}\right)} \tag{6}$$

Bild 4. Zeitlicher Verlauf des Kurzschlußwechselstromes bei Kurzschluß im Punkt 5 (Bild 2)
a) Teilkurzschlußströme $i_{kG}(t)$ und $i_{kN}(t)$
b) symmetrischer Ausschaltwechselstrom $I_a(t)$ an der Kurzschlußstelle



Diese Gleichungen können jedoch nur verwendet werden, wenn außer den Kurzschlußleistungen S_{k_A}'' und S_{k_B}'' auch noch die resultierende Gesamtimpedanz Z_{AB} zwischen den beiden Einspeisepunkten bekannt ist.

Für das im Bild 1 dargestellte Beispiel erhält man mit $Z_{AB} = 5{,}267\,\Omega$ aus Gl. (5) und Gl. (6) die echten Netzersatzimpedanzen.

$$Z_{N_A} = 4{,}42\,\Omega \qquad (\Delta\, Z_{N_A} = 33\,\%)$$
$$Z_{N_B} = 3{,}67\,\Omega \qquad (\Delta\, Z_{N_B} = 27\,\%).$$

Bei exakter komplexer Berechnung und auch bei mehr als zwei Netzkuppelstellen zu einem vermaschten System lassen sich solche analytischen Ausdrücke wie Gl. (5) und Gl. (6) nicht mehr ableiten. In diesen Fällen können nur iterative Berechnungsmethoden zur Ersatzimpedanzbestimmung verwendet werden [2].

Die in den vorangegangenen Ausführungen dargestellte Fehlermöglichkeit kann auch bei dem im Bild 2 gezeigten Netzbeispiel auftreten. Während der im Bild 1 betrachtete Fall mehr ein Problem aus der öffentlichen Energieversorgung ist, kann die im Bild 2 abgebildete Anordnung der Netzelemente in leistungsstarken Netzen der Industrie vorkommen. Wird die vorgegebene Summenkurzschlußleistung der 110-kV-Netzeinspeisung (Bild 2) zur Berechnung von Z_N verwendet und ist in S_k'' der Einfluß des Generators mit berücksichtigt, so erhält man mit Gl. (1) eine zu kleine Netzersatzimpedanz und dadurch für die 110-kV-Knotenpunkte zu große Kurzschlußströme. An den 6-kV-Sammelschienen wird jedoch der Fehlereinfluß infolge der großen Transformatorreaktanz kaum noch spürbar.

Mit der angegebenen Kurzschlußleistung $S_k'' = 2100$ MVA für die Netzeinspeisung im Punkt 3 (Bild 2) ergibt sich näherungsweise die Ersatzreaktanz des übergeordneten 110-kV-Netzes, bezogen auf 6 kV,

$$X_N'' = \frac{1{,}1 \cdot 6^2\,(\mathrm{kV})^2}{2100\,\mathrm{MVA}} = \underline{\underline{0{,}01886\,\Omega}}. \tag{7}$$

Aus einer Kontrollberechnung erhält man mit den in Tafel 1 angegebenen Kennwerten für die Netzeinspeisung im Knotenpunkt 3 (Bild 2) folgende Summenkurzschlußleistung

$$S_k'' = 1{,}1\,U_n^2\left(\frac{1}{\frac{1}{2}\,(X_d'' + X_T) + X_{12} + X_{23}} + \frac{1}{X_N''}\right) \tag{8}$$

$$S_k'' = 1{,}1 \cdot 6^2\,(\mathrm{kV})^2\left(\frac{1}{0{,}1165\,\Omega} + \frac{1}{0{,}01886\,\Omega}\right) = \underline{\underline{2440\,\mathrm{MVA}}}.$$

Es ergibt sich also mit der über Gl. (1) ermittelten Ersatzreaktanz X_N'' eine um 340 MVA zu große Kurzschlußleistung an der Netzkuppelstelle und damit um etwa 16 % zu hohe Kurzschlußströme an den 110-kV-Punkten. Für die 6-kV-Sammelschiene (Punkt 4 im Bild 2) beträgt die Abweichung gegenüber dem exakten Wert jedoch nur etwa 2 %. Wird dagegen mit dem korrigierten Wert $X_N'' = 0{,}0225\,\Omega$ ($S_k''^{(\mathrm{korr})} = 1760$ MVA) die Berechnung vorgenommen, so ergeben sich für alle Knotenpunkte die richtigen Kurzschlußströme.

2. Berücksichtigung von Netzeinspeisungen bei der Berechnung des Ausschaltwechselstromes

Für die Bestimmung des Ausschaltwechselstromes I_a wird in der Praxis entweder der standardisierte Kurzschlußstromverlauf des TGL-Verfahrens [1] verwendet, oder das Abklingverhalten des Kurzschlußwechselstromes wird durch Exponentialfunktionen berücksichtigt, die für die Ausgleichsvorgänge bei Synchronmaschinen typisch sind [3]. Wird eine Kurzschlußstelle von mehreren Generatoren gespeist, so setzt sich der Ausschaltwechselstrom dort aus den Stromanteilen der einzelnen Maschinen zusammen. Bei der vereinfachten Berechnungsmethode [1] wird das unterschiedliche Abklingverhalten der Teilkurzschlußströme durch die Abklingfaktoren μ_i berücksichtigt, die für jeden Generator i entsprechend dem Verhältnis $\frac{I_{ki}''}{I_{ni}}$ bestimmt werden.

Bei Kurzschluß in der Nähe von Kraftwerken tritt eine Mehrfachspeisung auf, die aus den Generatoren des Kraftwerks und dem angeschlossenen Netz besteht (Bild 3a). Zur Bestimmung des Ausschaltwechselstromes I_a müssen die Teilkurzschlußströme I_{k_G}'' und I_{k_N}'' berechnet werden (Bild 3b). Der Kurzschlußstromanteil I_{k_N}'' aus dem starren Netz wird dabei als konstant angenommen, und für den Generatoranteil I_{k_G}'' wird mit dem Verhältnis $\frac{I_{k_G}}{I_{n_G}''}$ gemäß [1] der Abklingfaktor μ ermittelt. Der Ausschaltstrom für eine bestimmte Ausschaltverzugszeit t_a ergibt sich dann aus

$$I_a\,(t=t_a) = \mu\,(t=t_a)\,I_{k_G}'' + I_{k_N}''. \tag{9}$$

Überprüfungen dieser Vorgehensweise haben gezeigt, daß mit Gl. (9) für das im Bild 3a dargestellte Kurzschlußproblem zu kleine Ausschaltströme berechnet werden können, wenn ungünstige Impedanzverhältnisse vorliegen. Die Ursache liegt darin, daß der Kurzschlußstromanteil aus dem Netz während des Kurzschlußvorgangs nicht konstant bleibt, sondern ebenfalls einer zeitlichen Änderung unterworfen ist. Für den Teilkurzschlußstrom des Netzes gilt nach Bild 3b

$$i_{k_N}(t) = \frac{U_N - i_{k_G}(t)\,X_L}{X_L + X_N + X_T}. \tag{10}$$

Der Teilkurzschlußstrom des Generators $i_{k_G}(t)$ klingt während des Ausgleichsvorgangs ab. Bei Annahme einer starren Netzspannung U_N folgt aus Gl. (10), daß dadurch der vom Netz gelieferte Anteil des Kurzschlußstromes $i_{k_N}(t)$ während des Schaltverzugs ansteigen muß. Das bedeutet für einen vor oder hinter der Reaktanz X_L liegenden Leistungsschalter (Bild 3a), daß der von ihm abzuschaltende Gesamtstrom nicht in der Weise abklingt, wie es die Berechnung mit Gl. (9) ergibt. Wird die zeitliche Änderung des Teilkurzschlußstromes aus dem Netz mit berücksichtigt, so gilt für den Ausschaltwechselstrom

$$I_a(t) = i_{k_G}(t) + i_{k_N}(t). \tag{11}$$

Tafel 1. Daten des Modellnetzes (Bild 2) bezogen auf U_n = 6 kV

Generator			
2 × 40 MVA	U_{nG}	= 6,3 kV	R_G = 0
	$\cos\varphi_G$	= 0,8	X_d'' = 0,112 Ω
	$\frac{U''}{U'}$	= 0,95	X_d' = 0,18 Ω
			X_d = 1,80 Ω
	$\frac{U'}{U_p}$	= 0,5	T_d'' = 0,05 sec
			T_d' = 1,1 sec
	U_G	= $\frac{1{,}1 \cdot 6\ \text{kV}}{\sqrt{3}}$	T_e = 0,01 sec
Transformator			
2 × 40 MVA	$\ddot{u}$	110 kV/6,3 kV	R_T 0
			X_T = 0,117 Ω
Netz			
110 kV – 6 kV	S_k''	= 2100 MVA	$R_{12} = R_{23} = R_N = R_L = 0$
	X_N''	= 0,0225 Ω	$X_N = X_{12} + X_{23} + X_N''$
	X_{12}	= 0,001 Ω	= 0,0245 Ω
	X_{23}	= 0,001 Ω	$U_N = \frac{1{,}1 \cdot 110\ \text{kV}}{\sqrt{3}}\left(\frac{6}{110}\right)$
	X_L	= 0,017 Ω	
Kurzschluß im Punkt 5	I_k''	= 75,54 kA	$I_{kG}'' = 45{,}11$ kA
			$I_{kN}'' = 30{,}43$ kA

Mit Gl. (10) ergibt sich dann folgende problembezogene Gleichung für die Berechnung von $I_a\,(t)$ zum Zeitpunkt t_a

$$I_a\,(t=t_a) = \mu\,(t=t_a)\,I_{k_G}'' + \frac{U_N - \mu\,(t=t_a)\cdot I_{k_G}''\,X_L}{X_L + X_N + X_T}. \tag{12}$$

Die exakten Teilkurzschlußströme für die im Bild 3 dargestellte Anordnung lassen sich berechnen aus

$$i_{k_G}(t) = \frac{U_G\,(X_N + X_T + X_L) - U_N\,X_L}{x_G(t)\,(X_N + X_T + X_L) + X_L\,(X_N + X_T)} \tag{13}$$

$$i_{k_N}(t) = \frac{U_N\,(x_G(t) + X_L) - U_G\,X_L}{x_G(t)\,(X_N + X_T + X_L) + X_L\,(X_N + X_T)}. \tag{14}$$

Für das zeitliche Verhalten der Generatorreaktanz $x_G\,(t)$ im Kurzschlußfall gilt mit guter Genauigkeit der folgende Ausdruck

$$x_G(t) = \frac{1}{\left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{aX_d'}\right)e^{-t/T_d''} + \left(\frac{1}{aX_d'} - \frac{K_f}{bX_d} - c\right)e^{-t/T_d'} + c\,e^{-t/T_e} + \frac{K_f}{bX_d}} \tag{15}$$

mit

$$a = \frac{U''}{U'};\quad b = \frac{U''}{U_p};\quad c = \frac{T_e\,(K_f - 1)}{(T_d' - T_e)\,bX_d}.$$

Durch den Forcierungsfaktor $K_f > 1$ und durch die Zeitkonstante T_e wird der Einfluß von Erregerspannungsänderungen im Kurzschlußfall in Gl. (15) mit berücksichtigt.

Mit den in Tafel 1 zusammengestellten Daten ergeben sich für das im Bild 2 gezeigte Beispiel die im Bild 4a aufgetragenen zeitlichen Verläufe der Teilkurzschlußströme bei Kurzschluß im Punkt 5 (Bild 2). Es ist deutlich sichtbar, daß der Kurzschlußstromanteil des Netzes nach Beendigung des Ausgleichsvorgangs fast 15% über seinem Anfangswert I_{k_N}'' liegt. Man erkennt daraus, daß bei einem Kurzschlußproblem, wie es im Bild 2 bzw. Bild 3 dargestellt ist, mit Gl. (9) stets etwas zu kleine Ausschaltwechselströme berechnet werden. Der Fehler kann bei größeren Ausschaltverzugszeiten ($t_a > 0{,}5$ sec) sogar die in der praktischen Kurzschlußstromberechnung geduldete Toleranz von 5% überschreiten (Bild 4b). Mit Gl. (12) wird dagegen diese Fehlermöglichkeit ausgeschlossen.

3. Zusammenfassung

Bei vereinfachten Verfahren zur Kurzschlußstromberechnung werden Einspeisungen aus vorgeordneten Übertragungs- oder Verteilungsnetzen durch Ersatzimpedanzen dargestellt, die sich aus der Kurzschlußleistung an den Anschlußstellen ermitteln lassen. Für die meisten praktischen Aufgaben ist diese Verfahrensweise genau genug, um reale Kurzschlußstromkenngrößen berechnen zu können. Bei vermaschten Netzen, die an mehreren Stellen aus vorgeordneten Systemen gespeist werden, sind genauere Methoden zur Ersatzimpedanzberechnung notwendig, um größere Fehler bei der Kurzschlußstromberechnung zu vermeiden. Die dargestellten Korrekturverfahren sind vor allem dann erforderlich, wenn die Kurzschlußleistung an der Unterspannungsseite der einspeisenden Transformatoren für die Ersatzimpedanzbestimmung verwendet wird.

Bei Kurzschlüssen in der Nähe von leistungsstarken Kraftwerken ist zu beachten, daß die Kurzschlußstromanteile aus dem Netz, bedingt durch die Ausgleichsvorgänge der Generatoren, auch zeitlichen Änderungen unterworfen sind. Das ist besonders bei der Bestimmung des Ausschaltwechselstromes für größere Schaltverzugszeiten zu beachten.

Literatur

[1] TGL 200-0604/02. Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromanlagen. Ausgabe März 1976

[2] *Kosse, E.; Blümel, D.; Pabst, R.:* Erprobung des Programms zur automatischen Planung von Verteilungsnetzen. Forschungsbericht des IEV Dresden, 1979

[3] *Schulz, W.:* Ein neues Rechenprogramm zur dreipoligen Kurzschlußstromberechnung für große Elektroenergieversorgungsnetze. ELEKTRIE, Berlin 32 (1978) 1, S. 37 – 40

EA 5274

Verhalten von Transformatordurchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden bei Blitz- und Schaltspannungsbeanspruchungen

R. Franke, KDT, Ilmenau; R. Müller, KDT, Ilmenau; H.-J. Rindfleisch, KDT, Berlin

1. Problemstellung

Transformatordurchführungen, deren prinzipieller Aufbau im Bild 1 dargestellt ist, dienen dazu, die auf hohem elektrischen Potential befindlichen Ableitungen der Transformatorwicklungen durch die auf Erdpotential befindliche Wandung des Transformatorkessels zur Netzklemme zu führen. Im Spannungsbereich über 60 kV überwiegt die Ausführung als Kondensatordurchführung, einer Anordnung von koaxialen, ineinandergeschachtelten Zylinderkondensatoren, über die das Leiterpotential bis auf Erdpotential abgebaut wird. Die Elektroden der einzelnen Zylinderkondensatoren (Steuerelektroden, Steuerbeläge, Einlagen) sind konventionell aus Aluminiumfolie und das Dielektrikum aus ölimprägniertem oder kunstharzbeschichtetem Isolierpapier hergestellt.

Zur Steuerung des stark inhomogenen elektrischen Feldes in unmittelbarer Nähe der Ränder der Steuerbeläge und zur Dämpfung von in diesem Bereich auftretenden elektrischen Entladungen sowie zur Erzielung von kürzeren Zeiten für die Ölimprägnierung des Durchführungswickels werden die Steuerbeläge von Weichpapierkondensatordurchführungen auch vollständig aus Graphitpapier mit einem im Vergleich zu metallischen Einlagen bedeutend höheren Widerstandsbelag hergestellt.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Modellierung und die Berechnung des elektrischen Verhaltens einer solchen Durchführung bei Beanspruchung mit Blitz- und Schaltspannungen.

2. Berechnung des elektrischen Verhaltens der Transformatordurchführung

2.1. Modellbildung

Die Aufgabe besteht darin, das Frequenzverhalten und daraus das Impulsverhalten der Durchführung zu berechnen. Da die zur Herstellung der Anordnung eingesetzten Materialien durch konstante Materialparameter (der ohmsche Widerstandsbelag der nichtmetallischen Steuerelektrode wird auf eine Fläche von 1×1 cm² bezogen und seine Größe als Flächenwiderstand R_F bezeichnet, die dielektrische Schicht wird durch $C_F = \varepsilon/d$, (d Dicke der ε-Schicht) gekennzeichnet) charakterisiert sind, das System also lineares elektrisches Verhalten erwarten läßt, bietet sich ein RC-Netzwerk als Modell der Durchführung an. Die Elemente des Netzwerkes sind linear. Die Modellierung der Durchführung durch ein RC-Netzwerkmodell wird in folgenden Teilschritten durchgeführt:

1) Diskretisierung der Durchführung, d.h. Zerlegung des Gesamtvolumens in kleine Teilvolumina der Länge Δx und der Dicke Δr entsprechend Bild 2a. Δr_i entspricht jeweils der Dicke der unter der entsprechenden Elektrode liegenden dielektrischen Schicht.
2) Modellierung der Teilvolumina durch ein RC-Modell (Bild 2b).
3) Zusammenfügen aller RC-Modelle zu einem Netzwerkmodell der Durchführung.
4) Vereinfachung des Netzwerkmodells.

Um die Größe des Netzwerkes in Grenzen zu halten, kann man in Rechnung stellen, daß sich im gesamten Gebiet unterhalb der Flanschelektrode ein homogenes elektrisches Feld in Radiusrichtung ($\vec{E} = E_r \vec{e}_r$) ausbildet und damit der Widerstandsbelag der Steuerelektroden keine Rolle spielt, da in ihm kein Strom fließt; d.h., es genügt hier eine einfache Kapazität je Schicht als Modell. So kann man auch beide Seiten der Durchführung (Öl- und Freiluftseite) getrennt voneinander betrachten, indem man die Durchführung bei $x = x_T$ in zwei voneinander unabhängige Teile zerlegt.

Bild 3 zeigt die Modellierung einer vereinfachten Durchführung. Jede Einlage wird im NW-Modell durch eine bestimmte Anzahl Widerstände und Kapazitäten repräsentiert.

Die NW-Elemente R und C ergeben sich aus den geometrischen Abmessungen der entsprechenden Teilvolumen und den Materialparametern. Mit einer zweckmäßigen Normierung (Index N)

$$G = G_N\, x_T \qquad x = x_N\, x_T$$
$$C = C_N\, x_T \qquad r = r_N\, r_a \tag{1}$$

erhält man die auf x_T und r_a bezogenen Elemente

$$G_N = R_N^{-1} = \frac{2 r_a\, l\, \pi}{R_F\, x_T^2}\,\frac{r_N}{x_N}, \quad C_N = 2\,\pi\, C_F\,\frac{r_N\, x_N}{\Delta\, r_N} \tag{2}$$

r_a Flanschradius, l Anzahl der im entsprechenden Bereich der Steuerelektrode (Einlage) übereinanderliegenden Schichten (z.B. des Graphitpapiers).

2.2. Netzwerk-Berechnung

Trotz der in Rechnung gestellten Vereinfachungen ist das die Durchführung beschreibende RC-Netzwerk so umfangreich, daß ein Aufstellen und Lösen des daraus resultierenden linearen Gleichungssystems von Hand zu aufwendig und der Einsatz des Digitalrechners geboten ist. Die numerische Analyse wurde mittels der Methode der Knotenpotentiale (u.a. in [2]) durchgeführt. Dazu muß zunächst die Spannungsquelle $U_e{}^{\mathrm{L}}$ in Bild 3 in die an dem Knotenpunkt angreifenden Zweige des NW transformiert werden und dann die Reihenschaltung $U_e{}^{\mathrm{L}}$, C in eine Parallelschaltung $I_e{}^{\mathrm{L}}$, L umgewandelt werden, damit man die zur Anwendung der Methode nur zugelassenen Stromquellen erhält (Bild 4).

Die Anwendung der Knotenpotentialmethode liefert das lineare algebraische Gleichungssystem im Frequenzbereich (komplexe Größen)

$$\underline{G}_N{}^{\mathrm{L}}\, \underline{U}_N{}^{\mathrm{L}} = \underline{I}_N{}^{\mathrm{L}} \tag{3}$$

$\underline{G}_N{}^{\mathrm{L}}$ Knotenleitwertmatrix
$\underline{U}_N{}^{\mathrm{L}}$ Vektor der Knotenpotentiale
$\underline{I}_N{}^{\mathrm{L}}$ Vektor der Stromeinspeisungen.

Entsprechend der Anzahl der Einlagen n und der Anzahl der NW-Knoten je Einlage k ergeben sich in Gl. (3) $n \cdot k$ komplexe Unbekannte. Zur Lösung des Gleichungssystems (3), das man zunächst in ein reellwertiges umwandelt, wurde eine iterative Methode, die Methode der konjugierten Gradienten ([3] [4]) ausgewählt. Das bietet sich an, weil die Anzahl der Unbekannten sehr groß und die Besetzungsdichte gering ist, was auch zur Anwendung einer speziellen sparse-matrix-Technik bei der Programmierung führte. Die numerischen Schwierigkeiten, die bei der Lösung zu bewältigen sind, sind infolge einer sehr schlechten Kondition des Gleichungssystems bedeutend.

Aus dem Gesamtstrom I^{L}, der durch die Durchführung gegen Erde abgeleitet wird, läßt sich ein Ersatzschaltbild der gesamten Durchführung, das aus der Parallelschaltung eines frequenzabhängigen Leitwertes G_{ers} und einer zunächst frequenzabhängig angesetzten Kapazität C_{ers} besteht, herleiten.

3. Elektrische Eigenschaften von Hochspannungsdurchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden

Im folgenden sollen die elektrischen Eigenschaften von Durchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden im Frequenzbereich dargestellt werden. Als Beispiel sollen hier die Analyseergebnisse einer Durchführung mit 11 Steuerelektroden vorgestellt werden. Es wurden folgende Abmessungen vorgegeben:

$r_0 = 46{,}5$ mm; $r_{12} = r_a = 53{,}0$ mm; $\Delta r = 0{,}5$ mm = konstant; $x_T = 1{,}6$ m; $l_a = 1{,}4$ m; $r_d = 20$ mm = konstant; $R_F = 2000\,\Omega$; $\varepsilon_r = 3{,}5$.

Auf jede Einlage wurden 17 Knotenpunkte gelegt. Die Breite eines Teilvolumens Δx betrug 10 mm.

Im Bild 5 ist der Verlauf des Betrages der Knotenpotentiale auf einigen Einlagen bei verschiedenen Frequenzen und im Bild 6 das Feldbild im Inneren der Durchführung ohne Berücksichtigung von

Dipl.-Ing. *Rainer Franke* ist wissenschaftlicher Assistent, Dr. sc. techn. *Renate Müller* ist Dozentin an der TH Ilmenau, Sektion Informationstechnik und Theoretische Elektrotechnik. Dr.-Ing. *Hans-Joachim Rindfleisch* ist Forschungsingenieur im VEB TRO Berlin.

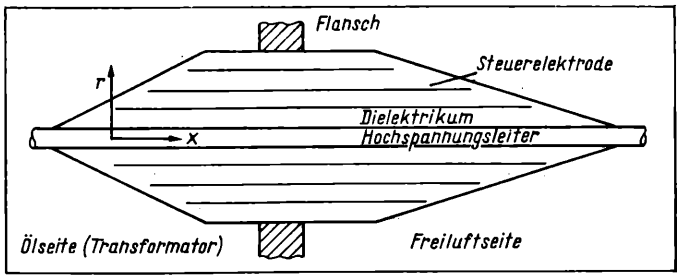


Bild 1. Prinzip-Aufbau einer Transformatordurchführung

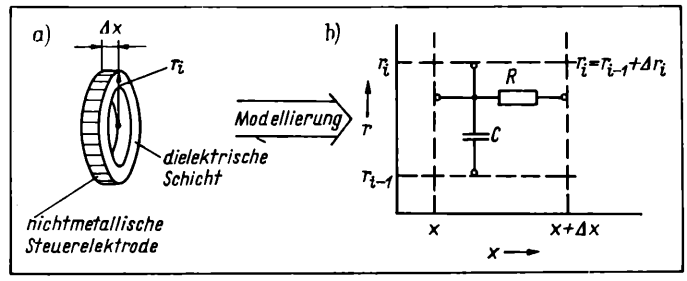


Bild 2. Diskretisierung der Durchführung
a) Teilvolumen der Durchführung
b) *RC*-Modell eines Teilvolumens

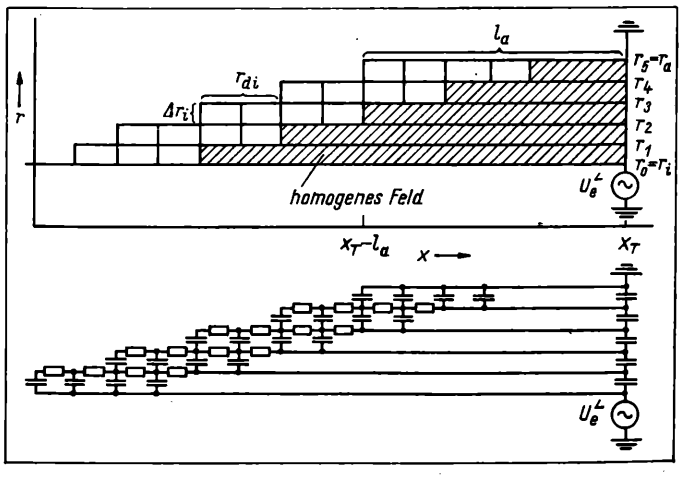


Bild 3. Modellierung der Durchführung

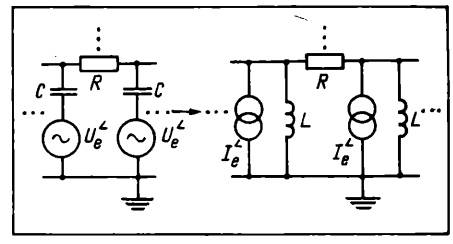
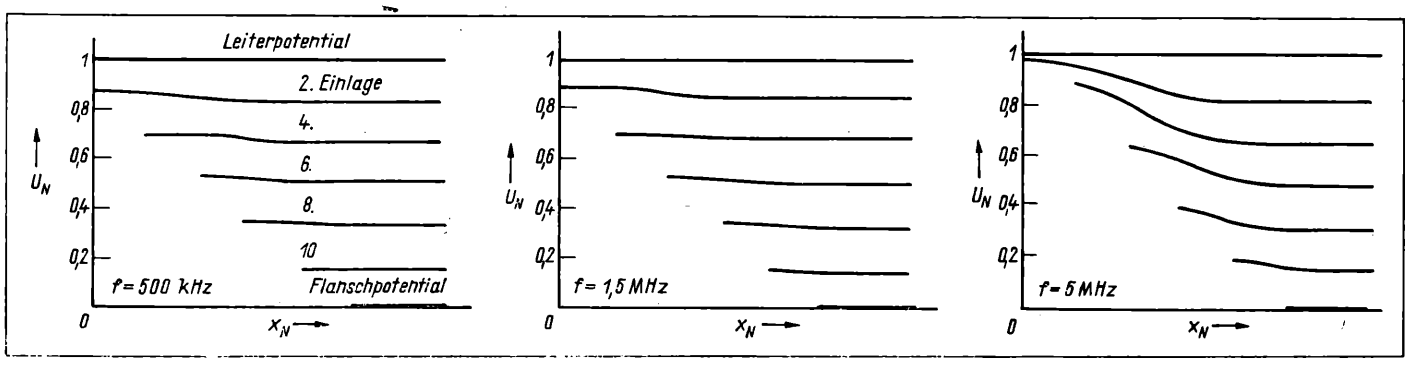


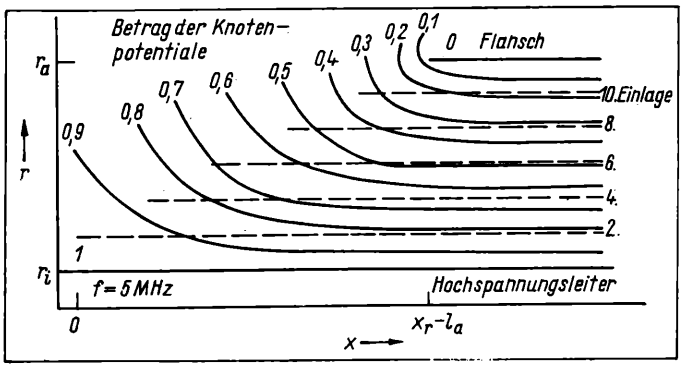
Bild 4. Transformierung der Spannungsquelle

Bild 5. Einlagenpotentiale bei verschiedenen Frequenzen ▼



Materialgrenzen am Rand und außerhalb der Durchführung dargestellt. Durch die nichtmetallischen Steuerelektroden kommt es praktisch zu einer Verkürzung der Einlagen. Die Flächen mit gleichem Knotenpotential durchstoßen die Steuerelektroden. Dadurch entstehen einerseits Potentialgradienten auf den Steuerelektroden, die dort einen Stromfluß und damit einen Wärmeumsatz bewirken, andererseits wird die Feldstärkespitze am Ende der Einlage wesentlich abgebaut. Die Feldstärkespitze am Ende der Flanschelektrode kann leicht durch konstruktive Maßnahmen (runde Enden) beherrscht werden.

Bild 6. Linien gleichen Knotenpotentials im Randgebiet einer Durchführung



Bei niedrigen Frequenzen $f < f_g$ unterscheidet sich das Feldbild nicht von dem einer Durchführung mit metallischen Steuerelektroden. Bezeichnet man als Grenzfrequenz f_g die Frequenz, bei der der axiale Spannungsabfall auf der nichtmetallischen Steuerelektrode im Randbereich 3% der Potentialdifferenz zwischen zwei benachbarten Steuerelektroden erreicht, so läßt sich zu ihrer Abschätzung folgender Ausdruck angeben:

$$f_g = \frac{0{,}03}{2\pi} \frac{r_a \Delta r_N}{R_F \varepsilon (x_T r_{dN})^2} \sim \frac{r_a - r_0}{(x_T - l_a)^2} n. \qquad (4)$$

Hieraus folgt unmittelbar, daß eine Durchführung mit nichtmetallischen Steuerelektroden umso eher vom rein kapazitiven Verhalten abweicht, je geringer die Dicke ihrer Isolierung $r_a - r_0$ und die Anzahl der Steuerelektroden n und je größer ihre Flankenlänge $x_T - l_a$ ist. Mit den Werten der im Beispiel dargestellten Durchführung ergibt sich eine Grenzfrequenz $f_g \approx 100$ kHz. Die Grenzfrequenz einer realen Durchführung kann aufgrund der drei- bis viermal höheren Werte von $r_a \Delta r_N$ und der bis etwa 1,5mal höheren Werte von $r_{dN} x_T$ im Bereich von 100 bis 400 kHz liegen. Einen wesentlichen Einfluß auf das Frequenzverhalten der Durchführungen haben die Randlängen $r_d = r_{dN} x_T$ (Abstufungen der Einlagenlängen).

Diese Unterschiede treten bei sehr hohen Frequenzen besonders deutlich in Erscheinung (Bild 7).

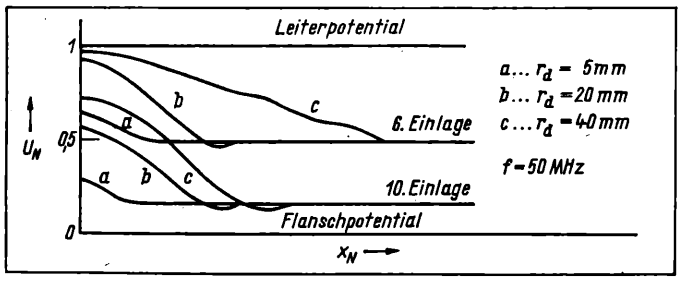


Bild 7. Einfluß der Randlängen auf die Einlagenpotentiale (Einlagen gegeneinander verschoben dargestellt)

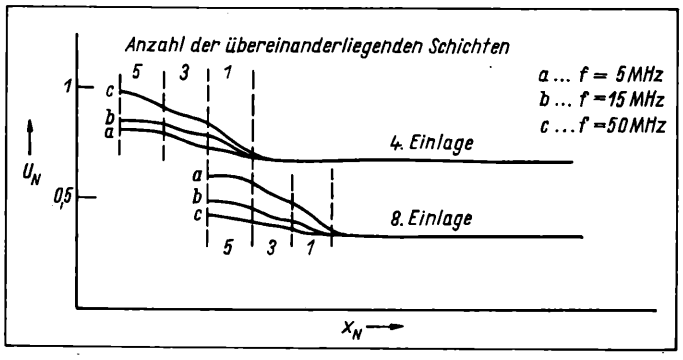


Bild 8. Verlauf der Einlagenpotentiale für verschiedene Frequenzen bei Verwendung unterschiedlicher Anzahl von übereinanderliegenden Schichten nichtmetallischer Steuerelektroden (x = 0···40 mm 5 Schichten, x = 40···80 mm 3 Schichten, x > 80 mm 1 Schicht)

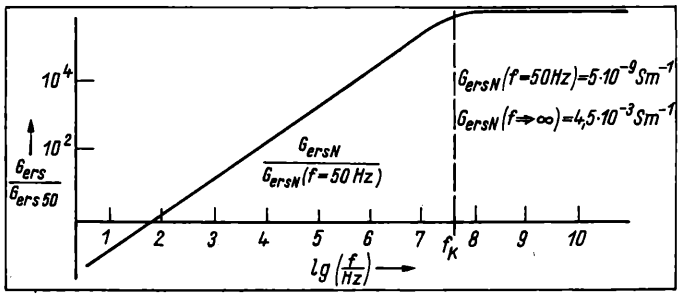


Bild 9. Frequenzverhalten des Ersatzleitwertes

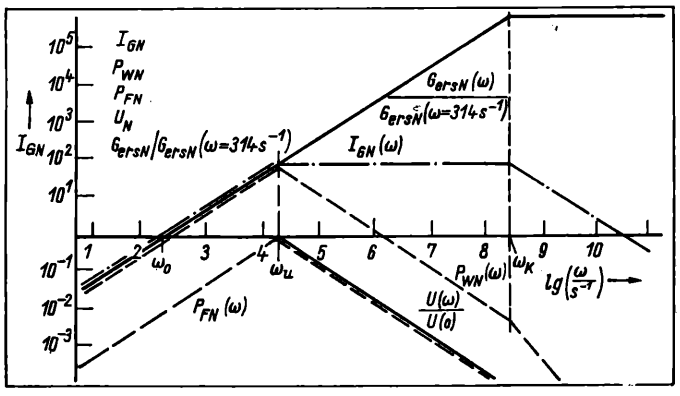
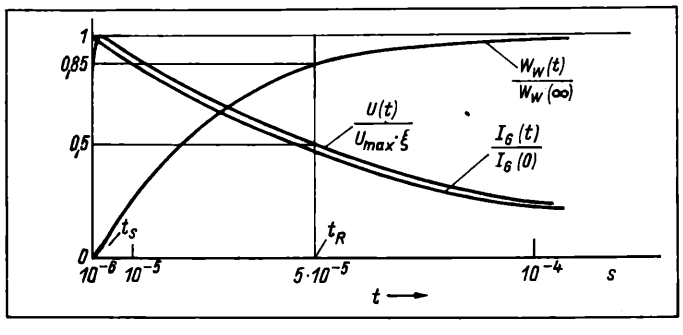


Bild 10. Frequenzkennlinien

Bild 11. Gegenüberstellung des zeitlichen Verlaufs eines vollen Blitzspannungsimpulses, des Stromimpulses und der freigesetzten Wärmeenergie



Eine Durchführung mit gleicher Anzahl n von Steuerelektroden und gleicher radialer Dicke ihrer Isolierung aber größerer axialer Flankenlänge hat daher aufgrund der größeren Randlängen ihrer Steuerelektroden ein bedeutend ungünstigeres Impulsverhalten. Die Materialparameter R_F und ε_r bedingen mit zunehmender Größe eine Verringerung der Grenzfrequenz. Eine Verringerung des Flächenwiderstandes R_F der Steuerelektrode ist daher zumindest im Randbereich anzustreben. Eine Verringerung von ε_r des Dielektrikums ist praktisch kaum möglich, da der Wert von Ölpapier mit $\varepsilon_r = 3{,}5$ sich nur wenig von dem des Öles mit $\varepsilon_r = 2{,}3$ unterscheidet.

Durch den Einsatz von mehreren übereinanderliegenden Schichten der nichtmetallischen Einlagen werden die Einlagenpotentiale bei höheren Frequenzen nicht so stark gegen das Leiterpotential gezogen. Jedoch treten größere Schwankungen der Beträge der Feldstärkekomponenten auf. Feldstärkespitzen treten insbesondere kurz hinter Sprüngen des wirksamen Flächenwiderstandes in Richtung größerer x-Koordinaten auf (Bild 8).

Die Berechnungen zeigen, daß die Ersatzkapazität C_{ersN} frequenzunabhängig ist und in ihrer Größe genau der Kapazität einer äquivalenten Durchführung mit Metalleinlagen entspricht. Die Frequenzabhängigkeit des Ersatzleitwertes G_{ersN}/G_{ersN} (f = 50 Hz) ist in Bild 9 dargestellt.

Der Ersatzleitwert steigt bis zu einer oberen Grenzfrequenz f_K annähernd proportional mit der Frequenz an und bleibt bei weiterer Erhöhung der Frequenz konstant. Für das hier dargestellte Beispiel beträgt die Grenzfrequenz des Ersatzleitwertes $f_K = 4 \cdot 10^7$ Hz. Bei dieser Frequenz ist der Ersatzleitwert auf etwa das 10^6fache im Vergleich zu dem Wert bei f = 50 Hz angestiegen (s. Bild 9).

4. Impulsverhalten

Im folgenden soll das Impulsverhalten der Hochspannungsdurchführungen am Beispiel von aperiodischen Spannungsimpulsen untersucht werden. Für die Zeitfunktion eines Spannungsimpulses [5]

$$u(t) = U_{max}\,\xi\,(e^{-p_1 t} - e^{-p_2 t}) \tag{5}$$

U_{max} Scheitelspannung
ξ Normierungsfaktor
p_1, p_2 charakteristische Frequenzen

ergibt sich durch Anwendung der Fouriertransformation das Frequenzspektrum des Spannungsimpulses

$$u(\omega) = U_{max}\,\xi\left[(p_1^2 + \omega^2)^{-\frac{1}{2}} - (p_2^2 + \omega^2)^{-\frac{1}{2}}\right]. \tag{6}$$

Wichtige Aussagen über das Impulsverhalten der Durchführungen lassen sich aus der Analyse des Ersatzschaltbildes treffen. Dies wird am Beispiel des Stromes durch G_{ers} und der darin in Wärme umgesetzten Energie gezeigt.

Ausgangspunkt sind die Frequenzkennlinien des Ersatzleitwertes und eines Blitzspannungsimpulses der Form 1/50 µs (Bild 10). Die Frequenzkennlinie des Stromimpulses durch G_{ers} lautet

$$I_G(\omega) = G_{ers}(\omega)\,u(\omega). \tag{7}$$

Die Gesamtleistung des Ersatzschaltbildes ergibt sich aus der geometrischen Addition von Blind- und Wirkleistung

$$P(\omega) = \sqrt{P_F(\omega)^2 + P_w(\omega)^2} \tag{8}$$

Die Blindleistung

$$P_F(\omega) = u^2(\omega)\,\omega\,C_{ers} \tag{9}$$

ist zum Aufbau des elektrischen Feldes in C_{ers} erforderlich, während die Wirkleistung

$$P_w(\omega) = u^2(\omega)\,G_{ers}(\omega) \tag{10}$$

die Leistung ist, die in G_{ers} einen Wärmeumsatz hervorruft. Die Frequenzkennlinien $P_F(\omega)$ und $P_w(\omega)$ sind ebenfalls im Bild 10 dargestellt.

4.1. Der Stromimpuls durch das Ersatzschaltbild

Die Frequenzkennlinie des normierten Stromes durch G_{ers} wird

zweckmäßig durch folgenden Ausdruck approximiert [6]

$$I_{GN}(\omega) = \frac{\omega T_0}{(1 + \omega T_u)(1 + \omega T_K)} \tag{11}$$

$$T_0 = \frac{1}{\omega_0}, T_u = \frac{1}{\omega_u}, T_K = \frac{1}{\omega_K}$$

ω_0 Betriebskreisfrequenz
ω_u Grenzkreisfrequenz des Spannungsimpulses
ω_K Grenzkreisfrequenz des Ersatzleitwertes.

Mit den Konstanten

$$\alpha = -\frac{T_0}{T_u}, \beta = -\frac{T_0}{T_K}, \gamma = \frac{T_0^2}{T_u T_K} = \alpha \beta \tag{12}$$

ergibt sich die Zeitfunktion des normierten Stromimpulses [7] zu

$$I_{GN}(t) = \frac{2 \pi \gamma \beta}{\beta - \alpha}\left[e^{\beta \frac{t}{T_0}} - \alpha e^{\alpha \frac{t}{T_0}}\right] \tag{13}$$

bzw. falls $\alpha \gg \beta$ (Bild 11)

$$I_{GN}(t) = -\frac{2 \pi \alpha \beta \gamma}{\beta - \alpha} e^{\alpha \frac{t}{T_0}}. \tag{14}$$

Durch Entnormierung folgt aus Gleichung (14)

$$I_G(t) = I_{GN}(t)\, G_{ers\,N}(\omega = 314\,s^{-1})\, x_T\, U(\omega = 0). \tag{15}$$

Der Strom $I_c(t)$ durch C_{ers} ergibt sich aus dem Produkt der zeitlichen Ableitung des Spannungsimpulses und der Kapazität C_{ers}, so daß der Gesamtstrom $I(t)$ durch Addition von $I_c(t)$ und $I_G(t)$ ermittelt werden kann.

4.2. Energieumsatz in der Durchführung

In der Durchführung wird im Zeitintervall $0 \leqq t \leqq t_0$ die Energie

$$W = \int_{t=0}^{t=t_0} U(t)\, I(t)\, dt \tag{16}$$

umgesetzt und damit dem Energieübertragungsnetz entnommen. $P(\omega)$ (Gl. (8)) ist die Fouriertransformierte von $W(t)$. Ein Teil der Gesamtenergie wird zum Aufbau des elektrischen Feldes in C_{ers} (d.h. in den dielektrischen Schichten der Durchführung) benötigt. Der andere Teil der Energie W

$$W_w = \int_0^{t_0} u(t)\, I_G(t)\, dt \tag{17}$$

wird in Wärme (die im Extremfall zu irreversiblen Veränderungen führt) umgesetzt.

$$W_w = -U_{max}\, \xi \frac{2 \pi \alpha \beta \gamma}{\beta - \alpha} G_{ers\,N}(\omega_0)\, x_T\, U(\omega = 0) \times \left[\frac{1}{\frac{\alpha}{T_0} - p_2} - \frac{1}{\frac{\alpha}{T_0} - p_1}\right]. \tag{18}$$

Diese Wärmeenergie wird zu 85% bereits bis zum Erreichen der Rückenhalbwertszeit des Blitzspannungsimpulses von 50µs freigesetzt.

Mit den Parametern des Blitzspannungsimpulses $p_1 = 1{,}45 \cdot 10^4\ s^{-1}$; $p_2 = 2{,}99 \cdot 10^6\ s^{-1}$; $\omega_u = 1{,}775 \cdot 10^4\ s^{-1}$; $\xi = 1{,}025$; $U(\omega = 0) = U_{max} \cdot 7 \cdot 10^{-5}$ und den Werten der im Beispiel dargestellten Durchführung $\omega_k = 2{,}51 \cdot 10^8\ s^{-1}$; $G_{ers\,N}(\omega_0) = 5 \cdot 10^{-9}\ Sm^{-1}$ und $x_T = 1{,}6$ m erhält man eine Wärmeenergie von

$$W_w\,[Ws] = 2{,}9 \cdot 10^{-7}\,(U_{max}\,[V])^2. \tag{19}$$

Die während des Impulsvorganges in der Durchführung vorübergehend gespeicherte elektrostatische Energie

$$W_c = \frac{C_{ers\,N}\, x_T}{2} U_{max}^2 \tag{20}$$

beträgt im vorliegenden Beispiel mit $C_{ers\,N} = 1{,}53 \cdot 10^{-9} \frac{F}{m}$.

$$W_c\,[Ws] = 1{,}2 \cdot 10^{-9}\,(U_{max}\,[V])^2. \tag{21}$$

Die bei einer Blitzspannungsbeanspruchung der Durchführung in den Rändern der nichtmetallischen Steuerelektroden freigesetzte Wärmeenergie beträgt somit im vorliegenden Falle das 240fache der im Dielektrikum der Durchführung vorübergehend gespeicherten elektrostatischen Energie.
Es kann aufgrund der Kürze des Vorganges angenommen werden, daß die impulsartig freigesetzte Wärmeenergie zunächst vollständig in der Randzone der Steuerelektroden gespeichert bleibt. Die dabei kurzzeitig auftretende Erwärmung der Ränder der Steuerelektroden beträgt im Mittel

$$\Delta \vartheta = \frac{W_w}{c\, \varrho\, n r_d\, 2 \pi (r_a + r_0)\, d}. \tag{22}$$

Mit einer Dicke der Steuerelektroden von $d \approx 10 \mu m$, der Wärmekapazität $C \approx 1\ Ws\ g^{-1}\ K^{-1}$ und einer Dichte von $\varrho \approx 1\ gcm^{-3}$ von Graphitpapier, sowie einer der elektrischen Beanspruchung bei der Prüfung einer 380-kV-Durchführung im vorliegenden Beispiel äquivalenten Blitzspannung von $U_{max} = 50$ kV erhält man eine kurzzeitige thermische Beanspruchung des Graphitpapiers in der Größenordnung von

$$\Delta \vartheta \approx 1000\ K,$$

was bei der Prüfung und Beurteilung der Eignung bzw. Betriebszuverlässigkeit solcher Durchführungen angemessen zu berücksichtigen ist.

5. Zusammenfassung

Hochspannungsdurchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden können durch ein Netzwerkmodell modelliert werden. Die mathematische Beschreibung dieses Netzwerkmodells mit der Methode der Knotenpotentiale führt im Frequenzbereich auf ein lineares Gleichungssystem. Zur numerischen Berechnung der Knotenpotentiale wurde die Methode der konjugierten Gradienten angewendet.
Bei hohen Frequenzen wird das elektrische Feld in den Randbereichen der Durchführung sehr stark verzerrt. Es treten auf den Einlagen große Axialkomponenten der elektrischen Feldstärke auf. Der Einfluß der Geometrie der Durchführung, der Materialparameter und konstruktiver Parameter wurde untersucht.
Es lassen sich folgende Beurteilungskriterien für Durchführungen mit nichtmetallischen Einlagen ableiten:

1) Das Verhalten der Durchführung bei Nennfrequenz sowohl bei Nennbelastung als auch bei zulässigen (Prüf-)Überbelastungen
2) die Dicke der Isolationsschichten in den flanschnahen Bereichen
3) die Abstufungen der Randlängen insbesondere der äußeren Einlagen
4) die Höhe der Sprünge des wirksamen Flächenwiderstandes der Einlagen und deren Ort auf den Einlagen
5) der Flächenwiderstand des Einlagenmaterials.

Die Durchführungen können durch ein einfaches Ersatzschaltbild beschrieben werden. Dieses besteht aus der Parallelschaltung eines frequenzabhängigen Leitwertes und einer konstanten Kapazität. Das Impulsverhalten wurde anhand des Wirkanteils des Stromes durch die Durchführung und der in Wärme umgesetzten Energie dargestellt. Der größte Teil der Wärmeenergie wird impulsartig freigesetzt und kann zu irreversiblen Veränderungen in der Durchführung, insbesondere auf den nichtmetallischen Einlagen führen.

Literatur

[1] *Lorenz, H.; Hinze, O.; Kühn, H.:* Hochspannungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1966
[2] *Simonyi, K.:* Theoretische Elektrotechnik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980
[3] *Schwarz, H. R.; Rutishauser, N.; Stiefel, E.:* Numerik symmetrischer Matrizen. Leipzig: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1968
[4] *Kiesewetter, H.; Maess, G.:* Elementare Methoden der numerischen Mathematik. Berlin: Akademie-Verlag 1974
[5] Unveröffentlichtes Manuskript. VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin
[6] *Göldner, K.:* Mathematische Grundlagen der Systemanalyse. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981
[7] *Philippow, E.* (Hrsg.): Taschenbuch der Elektrotechnik, Band 1: Allgemeine Grundlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976

EA 5323

Untersuchungen zur gasanalytischen Transformatorendiagnostik

E. Bräsel; Th. Pyl, KDT; Greifswald

Verwendete Formelzeichen

k_i	Bunsenscher Absorptionskoeffizient (Löslichkeitskoeffizient)
$Q_i\,(t)$	Quellterm
$S_i\,(t)$	Senkenterm
t	Zeit
V_{GR}	Gasraum im Ausdehnungsgefäß
V_i	Gaskomponentenkonzentration im Öl
$V_{öl}$	Ölvolumen des Transformators

Gas-chromatographische Laboranalysen sowie zunehmend modifizierte Vor-Ort-Analysen des aus dem Isolieröl extrahierten Gases und des bei Störungen im Buchholz-Relais angesammelten Gases erlauben den ursächlichen Prozeß, die Veränderung der chemischen Struktur des Isolationssystems bedingt durch den technischen Zustand des Transformators, zu verfolgen.

Als Ausdruck des international erreichten Kenntnisstandes können Standardisierungsentwürfe des IEC angesehen werden, die anerkannte Probenahme- und Gasextraktionstechniken, gas-chromatographische Analysenparameter sowie empirische Beurteilungskriterien zusammenfassen [1] [2].

Der interdisziplinäre Charakter der gasanalytischen Transformatorendiagnostik ist unbestritten und legte es nahe, auch speziell die physiko-chemisch orientierten Probleme zu betrachten [3]. Nachdem schon analytische Probleme diskutiert wurden [4], sollen hier Untersuchungen zur Entstehung und Verteilung des Zersetzungsgases im Transformator vorgestellt werden.

1. Ergänzende Untersuchungen zur Entstehung des Zersetzungsgases

Ergeben Analysen des im Öl gelösten Gases hauptsächlich höhere Gehalte an Olefinen, muß mit lokalen Temperaturen oberhalb des Siedebereiches des Öles gerechnet werden. Es laufen überwiegend Gasphasenreaktionen ab. Für den Transformator beginnt ein kritisches Stadium, das potentiell Relaisgasansammlungen erwarten läßt. Da bisher für diese Bedingungen, die Dünnschichtverdampfung beginnt zu dominieren, nur die flüssigen Reaktionsprodukte untersucht wurden [5], sind zur Charakterisierung dieses Stadiums anhand des Produktgases Untersuchungen unter simulierenden Bedingungen durchgeführt worden. Besondere Aufmerksamkeit galt dem Einfluß der Verweilzeit, bleibt diese doch für Diagnosen unbekannt.

Im Temperaturbereich zwischen 450 bis 650 °C und Verweilzeiten von 0,46 bis 2,7 s wurden Messungen der Gasausbeute und -zusammensetzung in einem Laborreaktor durchgeführt [6]. Die erhaltenen Ergebnisse am mit 0,3 M-% DBPC inhibierten Transformatorenöl TRF-G zeigt Tafel 1. Für die gasanalytische Transformatorendiagnostik erlauben diese Ergebnisse folgende Interpretation:

- Da kein eindeutiger Verweilzeiteinfluß auf die Gaszusammensetzung festzustellen ist, lassen sich thermische Fehler unabhängig von ihren verursachenden Bedingungen durch Zersetzungsgasquotienten charakterisieren. Diese Quotienten sind damit auch unabhängig von der Fehlerspontanität, was prinzipiell die einheitliche Anwendung des Diagnoseschemas sowohl auf im Öl gelöste Gase als auch auf Relaisgase ermöglicht.
- Zur Indikation der Temperatur über Zersetzungsgaskomponenten muß berücksichtigt werden, daß unterhalb von 1000 °C (oberhalb wird Acetylen indikativ) einige Komponenten deutlich ein Maximum ihrer Gehalte durchlaufen (C_3H_6, Butene, Butadien). Als geeignet können die Quotienten C_2H_4/C_2H_6 und C_2H_4/C_3H_6 genannt werden, deren Betrag mit steigender Temperatur steigt.
- Der Quotient C_3H_6/n-Butene beträgt bei den Laborversuchen minimal 3, dagegen nur maximal 0,37 bei Leistungstransformatoren mit Heißstellen vergleichbarer Temperatur. Eventuell muß bei der Aufklärung dieses abweichenden Verhaltens Berücksichtigung finden, daß thermische Reaktionen im Kessel des Betriebstransformators immer unter dem gleichzeitigen Einfluß des elektrischen Feldes stattfinden [7].

Thermische Langzeitversuche (etwa 20 Tage) bei 120 °C unter variierender Gasatmosphäre (N_2, Luft) ließen erkennen, daß der Zersetzungsgasgehalt des Öles maßgeblich durch Oxydationsreaktionen bestimmt wird. Da die Oxydation abhängig vom Abschlußsystem, vom Inhibitorgehalt, von der Ölsorte und vom Aufbau der Festisolation variierende Zersetzungsgaszusammensetzungen liefert, sollte das Einbeziehen von Quotienten für den gesunden Trafozustand in das Diagnoseschema [8] als Abgrenzung zu einem Fehlerverdacht nicht ausreichend sein. Hierbei muß auch immer das differenziert angewandte Grenzwert-Kriterium berücksichtigt werden.

2. Verteilung des Zersetzungsgases im störungsfreien Transformator

2.1. Bilanzierung der Gasverteilung

Für die prophylaktische Diagnostik ist die Tatsache von Bedeutung, daß gelöste Gaskomponenten des Öles das Bestreben haben, in eine damit verbundene Gasphase bis zur Gleichheit der chemischen Potentiale in beiden Phasen überzutreten (Henry-Daltonsches Gesetz der Gaslöslichkeit).

Für den stationären Leistungsbetrieb eines Transformators kann folgende Bilanzgleichung aufgestellt werden:

$$\frac{\mathrm{d}V_i}{\mathrm{d}t} = \frac{10^6}{V_{öl} + \dfrac{V_{GR}}{k_i}}\,[Q_i\,(t) - S_i\,(t)], \tag{1}$$

$Q_i\,(t)$ Beanspruchung des Isolationssystems, Lastschaltereinfluß, atmosphärische Luft

$S_i\,(t)$ Oxydation, Zeosorbeinfluß, Atmung.

Für die verschiedenen Abschlußsysteme gilt bezüglich der Zersetzungsgaskomponenten:

- Membranabschluß: $V_{GR} = S_i\,(t) = 0$
- Stickstoffabschluß: $S_i\,(t) = 0$
- Luftabschlußsystem: $S_i\,(t) \gtrless 0$.

Gl. (1) zeigt die Problematik auf, für Transformatoren unterschiedlicher äußerer Bauart einheitliche Grenzwerte für die im Öl gelösten Gaskomponenten zu benutzen. Mit den Bedingungen $S_i\,(t) = 0$ und $Q_i\,(t) = \text{const.}$ kann aus Gl. (1) der Einfluß der Verteilung auf die Komponentenquotienten des Diagnoseschemas abgeleitet werden:

$$\frac{Q_i}{Q_j} = \frac{V_{öl} + \dfrac{V_{GR}}{k_i}}{V_{öl} + \dfrac{V_{GR}}{k_j}}\,\frac{V_i}{V_j}. \tag{2}$$

Aus Gl. (2) wird ersichtlich, daß beim Membranabschluß ($V_{GR} = 0$) die Quotienten der im Öl gelösten Gaskomponenten denen der Fehlerquelle entsprechen. Bei den beiden anderen Abschlußsystemen treten mit zunehmender Löslichkeitsdifferenz der Quotientenkomponenten deutliche Abweichungen auf. Bei intensiv atmenden Transformatoren werden diese Relationen noch weiter verschoben.

Mit den gleichen obigen Bedingungen lassen sich aus Gl. (1) für

Dr.-rer. nat. *Eckhard Bräsel* ist Mitarbeiter im Bereich Kraftwerkschemie des VE Kombinates Kernkraftwerke „Bruno Leuschner", Greifswald.
Dr.-rer. nat. habil. *Theodor Pyl* ist Dozent an der Sektion Chemie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

Tafel 1. Gasmenge und -zusammensetzung bei der thermischen Pyrolyse von TRF-Gl im Laborreaktor

Versuchs-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Tempe- [°C] ratur	505	550	600	650	650	550	550	550
Verweil- [s] zeit	0,98	0,98	0,96	0,92	0,56	0,46	1,85	2,70
Bela- [g/h] stung	210,3	197,4	185,0	101,9	177,6	418,2	97,7	65,0
Gas- [M=%] ausbeute	0,04	0,54	5,12	20,33	17,34	0,13	1,61	2,40
Zusammensetzung des Gases [V-%]								
H_2	12,1	10,8	8,48	9,8	9,75	9,8	8,0	8,1
CH_4	41,4	35,3	26,9	26,0	26,3	34,8	30,5	29,8
C_2H_4	20,0	23,4	23,6	24,4	24,8	24,0	24,9	23,9
C_2H_6	14,7	14,2	12,4	10,8	10,3	14,4	15,1	15,0
C_2H_2	–	Spuren	Spuren	0,1	0,11	Spuren	Spuren	Spuren
C_3H_8	2,7	2,8	2,87	1,85	1,89	2,2	3,18	2,4
C_3H_6	7,4	10,8	17,4	16,8	16,9	11,3	14,1	15,3
C_4H_4	–	–	0,08	0,07	0,08	–	–	–
i-C_4H_{10}	0,07	0,04	0,15	0,1	0,06	0,05	0,05	0,08
n-C_4H_{10}	0,11	0,08	0,24	0,15	0,14	0,07	0,13	0,19
C_4H_8-(1)	0,75	1,24	3,36	3,6	3,62	1,47	2,12	2,41
i-C_4H_8	0,55	0,86	2,31	2,6	2,51	1,0	1,06	1,61
C_4H_8	0,09	0,21	0,95	1,3	1,2	0,2	0,24	0,54
C_4H_6-(1,3)	0,09	0,26	1,46	2,2	2,3	0,5	0,53	0,8
Farbe des Flüssigpro-produktes	gelb	rötlich-gelb	dunkel-rot	braun	braun			

Tafel 2. Abhängigkeit der Gaskomponentenkonzentrationen von der Probenahmestelle am Transformator, einschließlich Gasraum des Ausdehnungsgefäßes

	V_i in ppm an der Probenahmestelle Nr.							
i	1	2	3	4	5	5'[1])	6	6'[1])
CH_4	153	169	168	171	121	61,7	156	88,7
C_2H_2	40,8	43,2	46,4	87,5	42,1	34,4	37,2	27,6
C_2H_4	673	627	651	680	518	258	667	485
C_2H_6	139	146	142	133	99,1	52,0	126	96,1
C_3H_6	611	586	598	464	381	264	512	590
C_3H_8	68,7	69,7	62,3	66,0	61	92,2	54	114
O_2	9870	9770	10800	12500	15400	25800	14000	22800
N_2	57800	60800	57300	56300	56100	65200	53400	63000
H_2	84,5	98,1	78,9	49,6	48,6	43,1	46,8	28,9
CO	985	1020	958	653	338	65,6	479	158
CO_2	9640	9500	9640	10100	10700	40900	11700	79100

[1]) über das Gleichgewichts-Kriterium auf die Ölkonzentration berechnet (35°C)

Tafel 3. Vergleich Lastschalter/Durchführungsseite vom Öl- und Gasraum des Ausdehnungsgefäßes

	Gasraum in V-%				Ölraum V_i in ppm					
Datum	1.7.80		14.5.80		3.7.80		14.5.80		16.11.79	
Transformator	I		III		IV		III		IV	
i / Probenahme	5'	6'	5'	6'	5'	6'	5	6	5	6
CH_4	0,024	0,019	0,0063	0,0004	0,048	0,036	13,2	14,3	179	172
C_2H_2	0,0094	0,0031	0,0007	$< 4 \cdot 10^{-5}$	0,0051	0,0033	3,2	1,6	59,9	30,6
C_2H_4	0,025	0,022	0,0007	0,0004	0,064	0,055	14,3	19,4	623	625
C_2H_6	0,0031	0,0028	0,0002	$< 4 \cdot 10^{-5}$	0,0091	0,0072	1,8	3,1	135	135
C_3H_6	0,0024	0,0022	$< 6 \cdot 10^{-5}$	$< 6 \cdot 10^{-5}$	0,011	0,0091	6,25	8,0	543	556
C_3H_8	$< 6 \cdot 10^{-5}$	$< 6 \cdot 10^{-5}$	$< 6 \cdot 10^{-5}$	$< 6 \cdot 10^{-5}$	0,0012	0,0017	< 0,2	< 0,2	62,1	64,9
O_2	15,0	15,7	18,6	19,1	13,9	14,4	11800	14800	14800	14700
N_2	82,6	82,0	81,8	80,9	82,0	81,2	28000	36500	61300	60700
H_2	0,069	0,033	0,028	0,012	0,040	0,029	18,4	16,6	138	70,5
CO	0,27	0,25	< 0,01	< 0,01	0,34	0,15	< 7,5	< 7,5	533	595
CO_2	1,7	1,7	0,917	1,15	1,5	1,6	257	166	10100	9900

konstante Zersetzungsgasbildungsraten folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Der $V_i(t)$-Verlauf stellt eine monoton steigende, lineare Funktion dar, deren Anstieg durch die Größen $V_{\ddot{o}l}$, V_{GR} und k_i bestimmt wird.
- Je größer die Löslichkeit der Komponente ist, desto größer ist der zeitliche Konzentrationsanstieg. Daher sind gut öllösliche Komponenten empfindlicher in der Fehleranzeige.

Liegt dagegen ein Senkenterm vor, bildet sich nach dem linearen Anstieg ein Plateau aus, das den stationären Zustand sichtbar macht. Diese aufgezeigte Beeinflussung der Diagnosekriterien durch die Gasverteilung im störungsfreien Transformator fordert, die zu überwachenden Transformatoren streng nach Bauart und Belastung zu gruppieren.

2.2. Lokale Verteilung

Die lokale Gaskomponentenverteilung wurde anhand von Öl- und Gasproben[1]) untersucht, die zeitgleich an ausgewählten Maschinentransformatoren bei stationärem Leistungsbetrieb entnommen wurden. Tafel 2 zeigt repräsentative Ergebnisse dieser Messungen am Trafotyp KDRF/V 250 002/220 E (Hersteller: TRO).

Für die Probenahmestellen des Ölkessels (1—4) ist eine gute Übereinstimmung gegeben. Die Tendenz ist erkennbar, daß die Zersetzungsgasgehalte im Öl des Ausdehnungsgefäßes (5, 6) insgesamt kleiner sind. Die Luftkomponenten zeigen ein entgegengesetztes Verhalten. Besonders auffällig ist das Sauerstoffdefizit des Kesselöls, was als Maß für die ablaufenden Oxydationsreaktionen aufgefaßt werden kann. Es überrascht, daß Zersetzungsgaskomponenten mit dem größten Diffusionskoeffizienten und geringster Öllöslichkeit im Kesselöl relativ angereicherter vorliegen. Dafür könnten eventuell experimentell festgestellte Gravitationseffekte verantwortlich sein [9].

Die Abweichung vom Gleichgewicht zugunsten der Ölphase ist deutlich kleiner als die an atmenden Netztransformatoren ermittelte [10] und erlaubt auch den praktischen Gebrauch von Gl. (1). Die Untersuchungsergebnisse sollten an geeigneten Maschinentransformatoren eine Zustandsüberwachung rechtfertigen, wie sie von *Stepanĉuk* und *Iklimovič* [11] für Transformatoren mit Stickstoffabschluß vorgeschlagen wird. Genauer wurde sowohl ölals hauptsächlich auch gasseitig der Einfluß der Durchführungen und des Lastschalters auf die Gehalte der Zersetzungsgaskomponenten des Transformators untersucht (Tafel 3). Wasserstoff und Acetylen sind systematisch sowohl im Gasraum als auch im Öl der Lastschalterseite (5,5') angereicherter als auf der Durchführungsseite (6,6') des Ausdehnungsgefäßes. Diese typischen Lichtbogengaskomponenten weisen für den untersuchten Transformatortyp auf einen Lastschaltereinfluß hin, wie er schon von anderen Autoren angeführt wurde [8] [10] [12].

2.3. Zeitliche Änderungen

Ein Fehlerverdacht wird maßgeblich über das Differenzen-Kriterium, dem zeitlichen Verlauf der Zersetzungsgaskonzentration im Öl, abgeleitet. Komponentendifferenzierte Diagrammdarstellungen bzw. tabellarische Zusammenstellungen sind unübersichtlich. Für den praktischen Gebrauch haben sich Betriebsdiagramme unter folgenden Gesichtspunkten bewährt:

$\sum_{C_1}^{C_2} V_i$: Die Summe dieser Kohlenwasserstoffe (CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6, C_3H_6, C_3H_8) ist signifikant für thermische Fehler insgesamt.

V_{H_2} Wasserstoff zeigt elektrische Fehler an.

V_{CO+CO_2}: Die Summe der Kohlenoxide erlaubt eine Beurteilung des Zustandes der Festisolation.

ΣV_i: Die Summe aller im Öl gelösten Gaskomponenten ist das Maß für den Gassättigungsgrad.

[1]) Probenahmestellen
1 Kessel (unten)
2 Kessel (mitte)
3 Kessel (oben)
4 Buchholz-Relais
5 Öl Konservator (Lastschalterseite), 5' Gas
6 Öl Konservator (Durchführungsseite), 6' Gas

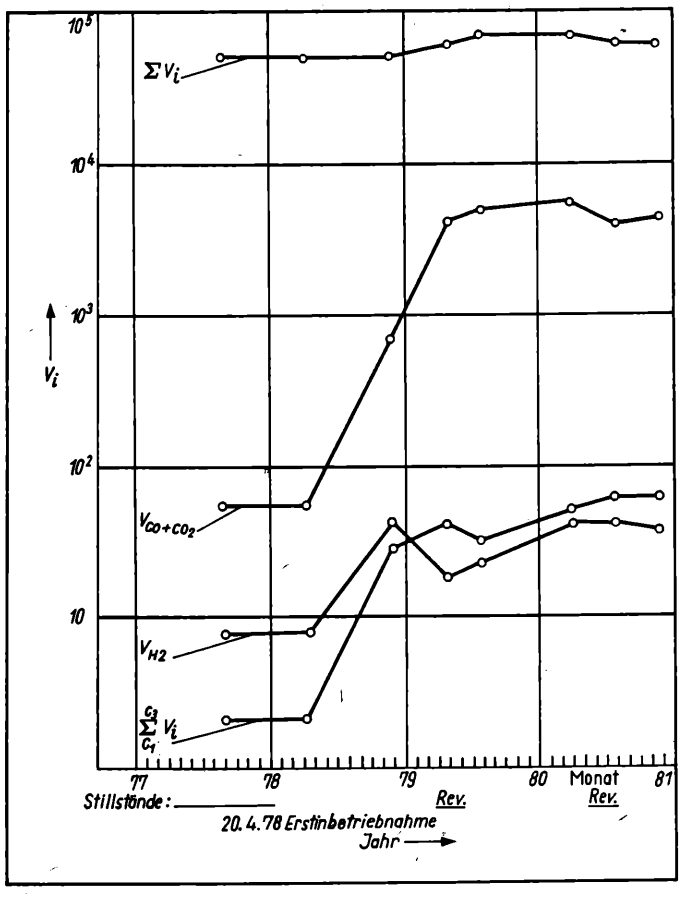
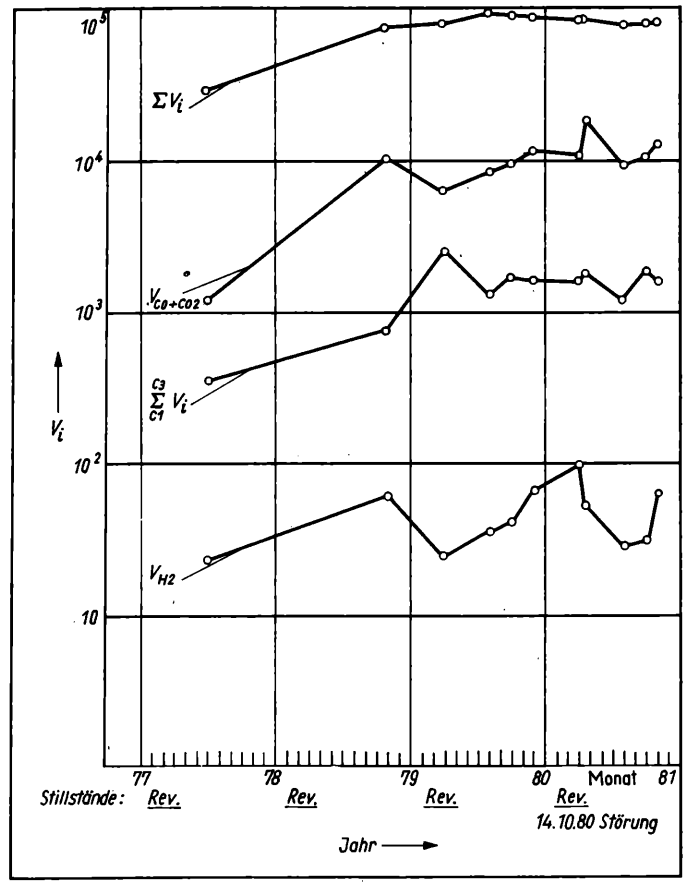


Bild 1. Betriebsdiagramm zweier ausgewählter Transformatoren
a) gesunder Zustand



b) fehlerhafter Zustand

Der zeitliche Verlauf dieser 4 Komponentengruppen läßt eine übersichtliche Trendbeurteilung des Transformatorenzustandes und der Tendenz zur physikalisch bedingten Gasabscheidung aus dem Öl zu. Bild 1 zeigt die für den Überwachungszeitraum zusammengestellten Betriebsdiagramme zweier ausgewählter Transformatoren.

Für einen vor der Erstinbetriebnahme schon analytisch betreuten Transformator, der über den Überwachungszeitraum als gesund eingestuft werden kann, sind die Komponentengruppen im Bild 1a) dargestellt. Es ist erkennbar, daß nach der Inbetriebnahme sich sehr schnell ein etwa konstantes Niveau einstellt, was auf einen Senkenterm in Gl. (1) hinweist.

Bild 1b) zeigt ein Beispiel für einen fehlerhaften Transformator (Kontaktfehler). Über längere Zeit lag ein hohes, sich aber nicht progressiv entwickelndes Zersetzungsgasniveau (Kohlenwasserstoffe) vor.

3. Zusammenfassung

Die prophylaktische Transformatorendiagnostik anhand der Analyse des im Öl gelösten Gases erfordert Kenntnisse zur Entstehung und Verteilung des Zersetzungsgases im Transformator.

Ergänzende Untersuchungen wurden zur thermischen Pyrolyse von Trafoöl im Laborreaktor (400—650 °C, 0,46—2,7 s Verweilzeit) und zur thermischen Dauerbelastung unter variierender Gasatmosphäre (N_2, Luft) bei 120 °C durchgeführt.

Die Verteilung des Zersetzungsgases wurde öl- und gasseitig an Maschinentransformatoren unter besonderer Berücksichtigung eines möglichen Lastschaltereinflusses untersucht. Die Zeitabhängigkeit der Gaskonzentrationen wird dargestellt.

Aus den experimentellen Ergebnissen und der Diskussion einer Bilanzgleichung für die Zersetzungsgasverteilung werden Schlußfolgerungen für die prophylaktische Diagnostik gezogen

Literatur

[1] Guide for the sampling from oil-filled electrical equipment of gases and of oil and for the analysis of free and dissolved gases. IEC, 10 A (Central office) 26, Februar 1975

[2] Method of examining the analysis of gases in oil filled electrical equipment. IEC, 10 A (Secretariat) 43, Juli 1975

[3] *Bräsel, E.:* Beiträge zur gasanalytischen Diagnostik von Öltransformatoren mit Luftabschlußsystem. Dissertation, EMA-Universität Greifswald, 1981

[4] *Bräsel, E.; Langecker, K.:* Extraktion des im Transformatorenöl gelösten Gases. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 12, S. 637 – 641

[5] *Kozlov, I. A.; Šapranova, V. V.; Kozlova, F. M.:* Termičeskoe rozloženie transfornogo masla v uslovijach plenocnogo kipenija. Prikl. Khim, Leningrad 50 (1977) 12, S. 2740

[6] *Zychlinski, W.:* Bericht zur vereinbarten Kooperationsleistung. ZI Organische Chemie der AdW Leipzig, 1578/80

[7] *Onaiko, V. A.; Panasynk, G. P.; Lazarev, V. B.:* Issledovanie vlijanija elektriceskogo polja na chimiceskoe revnovesie. Fiz. Khim. Leningrad 50 (1976) 7, S. 1915 – 1916

[8] *Müller, R.; Schliesing, H.; Soldner, K.:* Die Beurteilung des Betriebszustandes von Transformatoren durch Gasanalyse. Elektrizitätswirtsch. 76 (1977) 11, S. 345 – 349

[9] *Lipstein, P. A.; Stern, E. H.; Glasunova, T. B.:* Gravitacionnyj effekt pri diffusionnom nasyscenii transformatorov masla gazami. Elektr. Stanc. 49 (1978) 7, S. 86 – 87

[10] *Andersson, R.* u. a.: The transfer of fault gases in transformers and its effect upon the interpretation of gas analysis data. CIGRE (1976) 12-02

[11] *Stepančuk, K. P.; Iklimovič, G. S.:* Zustandsüberwachung der Innenisolation von Transformatoren durch die Bestimmung der Menge brennbarer Gase über dem Öl. Archiv Energiewirtsch., Berlin 32 (1978) 6, S. 481 – 487

[12] *Dvoracek, E.:* Prunik plynu rozpustenych v oleji do dilatacni nadoby transformatoru. Energetika (Praha) 28 (1978) 8, S. 349 – 350

EA 5332

Zum elektrischen Langzeitverhalten von Polyethylen-Isolierungen bei Wechselspannungsbelastung

P. Küllig, KDT, Schwerin; F. Petzold, KDT, Schwerin

Die technisch nutzbaren Werte der elektrischen Festigkeit von hochpolymeren Isolierstoffen, wie Polyethylen (PE) oder Epoxidharz, betragen nur wenige Prozent von den unter Laborbedingungen ermittelten materialeigenen Durchschlagfeldstärken. So liegen beispielsweise die spezifischen Betriebsfeldstärken von PE-isolierten Mittelspannungskabeln unter 4 kV/mm und werden auch in Zukunft für Hochspannungskabel den Wert von 15 kV/mm nicht überschreiten [1]. Die wesentlichen Gründe für diese geringe Ausnutzung der im Laboratorium gemessenen elektrischen Festigkeit von Polyethylen beruhen auf der elektrischen Alterung der Isolierung im elektrischen Feld. Diese beginnt bevorzugt an material- und/oder fertigungsbedingten Fehlstellen. So ist bekannt [2] [3], daß durch lokale Feldstärkeüberhöhungen, z.B. in unmittelbarer Umgebung von Verunreinigungen oder von glimmfähigen Hohlräumen oder Spalten in der Isolierung, sogenannte Teilentladungs-(TE)kanäle (engl.: electrical trees) auftreten können. Diese irreversiblen Zerstörungen führen nach einem gewissen Wachstumsprozeß zum Durchschlag der Isolierung. Die Bemessung, Herstellung und Prüfung der plastisolierten Starkstromkabel muß so erfolgen, daß unter Berücksichtigung der elektrischen Alterung ein zuverlässiger Betrieb über 50 Jahre garantiert werden kann.

1. Problematik

Die Betriebssicherheit von Starkstromkabeln mit einer extrudierten PE-Isolierung wird dominierend durch das mögliche Auftreten von Fehlstellen bestimmt. So konnten durch Grundlagenuntersuchungen [2] [3] zum Einfluß von Verunreinigungen auf die elektrische Lebensdauer von PE-Isolierungen Rückschlüsse auf die erforderliche Reinheit des PE-Ausgangsmaterials und vorbeugende Maßnahmen zur Verringerung von Fehlstellen in der Isolierung während der Fertigung festgelegt werden. Weiterhin kann durch den Einsatz des von *Lemke* [4] [5] entwickelten Verfahrens zur Messung und Ortung von Teilentladungs-Fehlstellen in plastisolierten Starkstromkabeln eine ständige Fehleranalyse durchgeführt werden, so daß auftretende technologische Mängel bei der Produktion sofort beseitigt werden können.

Trotz aller Maßnahmen und Kontrollen ist es dennoch möglich, daß Fehlstellen in der Isolierung verbleiben. Sie sind hinsichtlich der spezifischen Betriebsbeanspruchung von Mittelspannungskabeln (2 bis 4 kV/mm) meist unkritisch, können jedoch bei Beanspruchungen größer 4 kV/mm, wie es für PE-isolierte Hochspannungskabel der Fall ist, die Betriebssicherheit der Kabel beeinträchtigen. Deshalb werden z.B. dem PE für die Aderisolierung von Hochspannungskabeln Zusätze beigefügt, die die elektrische Lebensdauer der Kabelisolierung erhöhen sollen [6] [11].

Zur Beurteilung der Wirksamkeit solcher Zusätze ist es notwendig zunächst zu klären, welche Phase des elektrischen Durchschlagprozesses — die Zeit bis zum Kanaleinsatz oder die Aufbauzeit der TE-Kanäle — durch derartige sogenannte Spannungsstabilisatoren beeinflußt werden muß.

Deshalb wird im folgenden der zeitliche Zusammenhang zwischen der Entstehung der elektrischen Teilentladungskanäle und ihrem weiteren Vorwachsen bis zum Durchschlag der PE-Isolierung untersucht.

2. Versuchstechnik

Zur Nachbildung von technologisch bedingten Fehlstellen — z.B. von Verunreinigungen in der PE-Aderisolierung oder von Inhomogenitätsstellen an der Leiterglättung oder Aderschirmung eines Starkstromkabels — sowie zur Beobachtung der infolge der extrem inhomogenen Beanspruchungen an diesen Fehlstellen entstehenden irreversiblen Zerstörungen wird international der sogenannte „Nadel-Test" verwendet [2] [6] bis [9].

Bei den nachfolgend durchgeführten Untersuchungen wurden Nadel-Platte-Anordnungen mit 5, 25, 50 µm Abrundungsradius der Nadelelektroden und 2 bzw. 5 mm Elektrodenabstand eingesetzt. Die in einem speziellen Ätz- und Polierverfahren hergestellten Nadelelektroden werden in die PE-Platten (25 × 25 × 3)[1]) eingesenkt und in einer Prüfkörperhalterung arretiert, womit eine genaue Einstellung des Elektrodenabstandes — als Gegenelektrode dient die mit Leitsilber bestrichene PE-Plattenunterseite — ermöglicht und die Ausbildung von Hohlräumen vor den Nadelelektroden verhindert wird.

Die Prüflinge wurden im Dauerspannungsversuch (50-Hz-Wechselspannung) unter ständiger Kontrolle des TE-Pegels bis zum Kanaleinsatz und anschließend bis zum Durchschlag beansprucht. Da das Entstehen der ersten irreversiblen TE-Kanäle mit einem raschen Anstieg der max. Impulsladung bzw. der Summenimpulsladung verbunden ist — je nach der Höhe der Prüfspannung betragen die

Dr.-Ing. *Peter Küllig* ist Leiter der Abteilung Technik und Entwicklung im VEB Kabelwerk Nord Schwerin und war zur Zeit der Durchführung der Untersuchungen zu dieser Thematik wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden.

Dipl.-Ing. *Frank Petzold* ist Entwicklungsingenieur im VEB Kabelwerk Nord Schwerin und war zur Zeit der Bearbeitung dieser Thematik wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden.

Die Autoren danken Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Mosch* für die Förderung der Arbeit.

[1]) Die für die Untersuchungen verwendeten PE-Materialien wurden im Rahmen der Vertragsforschung vom Werkstofflabor des VEB Kabelwerk Oberspree Berlin zur Verfügung gestellt.

Bild 1. Reichweite der TE-Kanäle im PE abhängig von der Aufbauzeit Nadel-Platte-Prüfkörper: Spitzenradius $r_{sp} = 25$ µm

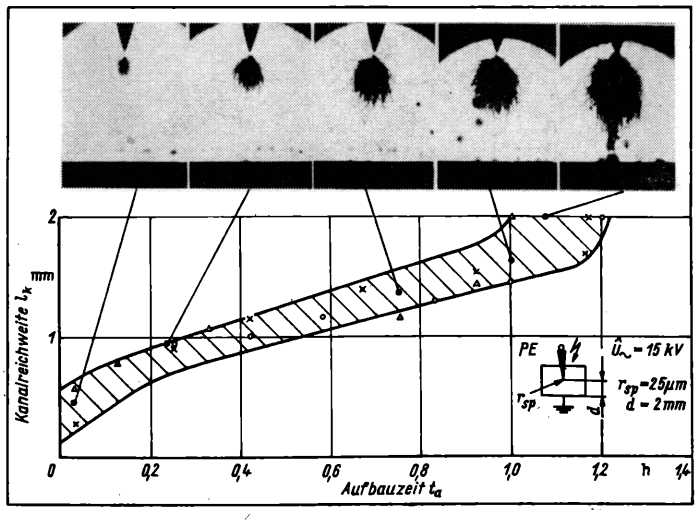
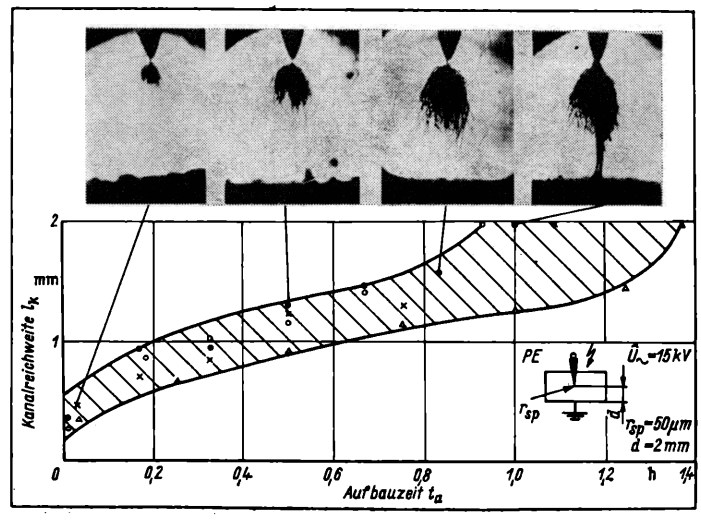


Bild 2. Reichweite der TE-Kanäle im PE abhängig von der Aufbauzeit Nadel-Platte-Prüfkörper: Spitzenradius $r_{sp} = 50$ µm



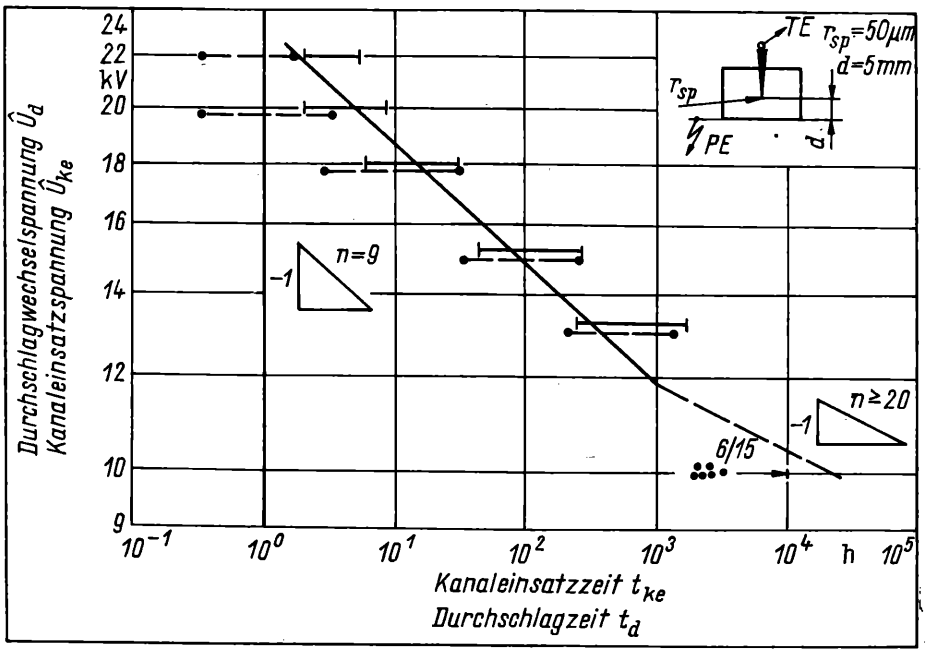


Bild 3. Kanaleinsatz- und Durchschlagzeiten (p = 63 %) von Nadel-Platte-Prüfkörpern aus PE

$t_{ke\,63}$ ● ··· ● Vertrauensbereiche

$t_{d\,63}$ |——|

6/15: Bis zu einer Beanspruchungszeit von 10000 h bildeten sich in 6 von 15 Prüfkörpern erste TE-Kanäle aus.

Einsatzimpulsladungen Werte zwischen 0,1 pC und einigen 10 pC — können die Kanaleinsatzzeiten sehr sicher bestimmt werden. Die statistische Auswertung der Meßergebnisse konnte unter der Annahme einer zweiparametrischen Weibullverteilung vorgenommen werden.

3. Versuchsergebnisse

Die Dauerspannungsversuche an Nadel-Platte-Prüfkörpern verdeutlichen, daß bei konstanter Spannung die räumliche und zeitliche Ausbildung der Teilentladungskanäle (Bilder 1 und 2) unabhängig vom Spitzenradius der Nadelelektrode ist. So bilden sich bei einem Spitzenradius von 25µm (Bild 1) und von 50µm (Bild 2) bei $\hat{u}_\sim$ = 15 kV gleichartige Teilentladungsfiguren aus, wodurch sich die Kanalreichweiten abhängig von der Aufbauzeit nicht signifikant unterscheiden.

Auch *Löffelmacher* [8] und *Meier* [10] stellten bei ihren Experimenten an Nadel-Platte-Prüfkörpern fest, daß das Weiterwachsen der TE-Kanäle nicht von der ursprünglichen Feldstärkeverteilung der Elektrodenanordnung vor dem Kanaleinsatz abhängt. Vielmehr bestimmen die Gasentladungsprozesse in den entstandenen TE-Kanälen, welche das Potential der Nadelelektrode bis zu den Kanalspitzen vortragen, die Wachstumsgeschwindigkeit der TE-Kanäle. Dabei treten gleichzeitig Erosionsprozesse an den Kanalwänden sowie Feldstärkeüberhöhungen vor den Kanalspitzen auf, die zu einer weiteren Zerstörung des Isolierstoffes führen.

Die Aufbauzeit selbst wird somit unmittelbar von der Intensität der Gasentladungsprozesse bestimmt, die ihrerseits von der Höhe der elektrischen Beanspruchung abhängen.

Die Höhe der elektrischen Beanspruchung beeinflußt natürlich infolge der veränderten Feldstärkeverteilung vor verschieden abgerundeten Nadelspitzen auch die Intensität der Alterungsprozesse bis zum Kanaleinsatz.

Die Kanaleinsatzzeit nimmt bei kleineren Spannungen exponentiell zu (im doppelt-logarithmischen Maßstab ≙ Kennlinie mit einem Anstieg $n = -1/9$; Bild 3).

Die Vertrauensbereiche (p = 63 %) der Durchschlagzeiten überdecken sich für mittlere Feldstärken 2,4 kV/mm < $\hat{u}/d$ < 4 kV/mm (bei d = 5 mm; 12 kV < $\hat{u}$ < 20 kV) mit denen der Kanaleinsatzzeiten, so daß in diesem Feldstärkebereich der Anteil der Aufbauzeit an der elektrischen Lebensdauer der PE-Isolierung vernachlässigbar klein ist. Dagegen zeigen die Versuche bei mittleren Feldstärken kleiner 2,4 kV/mm ein qualitativ anderes Verhalten. So wird bei der gewählten Elektrodenanordnung (r_{sp} = 50µm, d = 5 mm) bei $\hat{u}_\sim$ = 10 kV (≙ $\hat{u}/d$ = 2 kV/mm) die Aufbauzeit gegenüber der Kanaleinsatzzeit die dominierende Größe (Bild 3), was mit großer Wahrscheinlichkeit ein Abknicken der Lebensdauerkennlinie zu größeren Durchschlagzeiten zur Folge hat.

Die bäumchenförmige Verzweigung der TE-Kanäle nimmt mit kleineren Spannungen immer mehr ab. Die TE-Kanäle werden ausgehend von der Nadelelektrode immer dicker. Ihr Längenwachstum wird extrem langsam. Beträgt die mittlere Wachstumsgeschwindig-

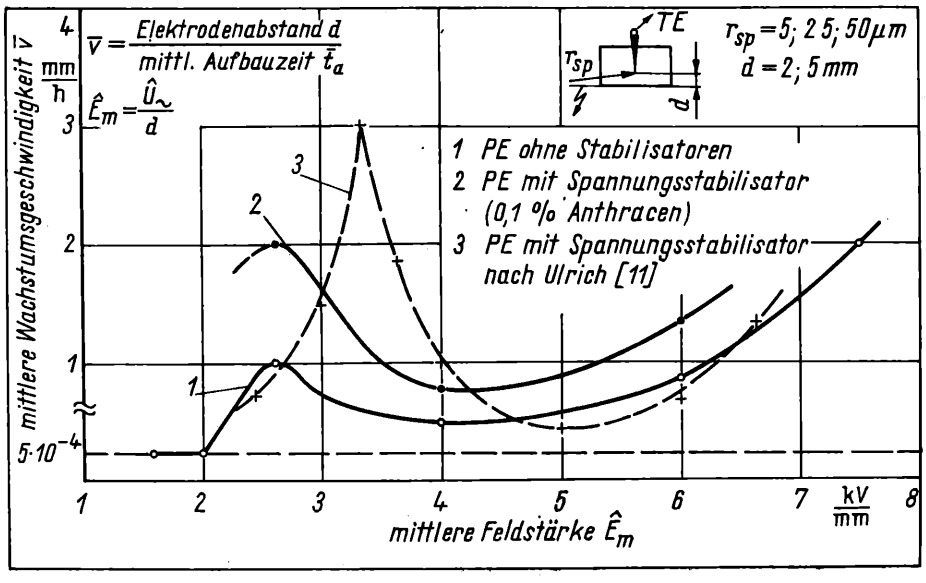


Bild 4. Mittlere Wachstumsgeschwindigkeit der TE-Kanäle im PE mit und ohne Spannungsstabilisatoren

keit der TE-Kanäle im PE bei einer mittleren Feldstärke von 2,6 kV/mm etwa 2 mm/h, so ist diese bei 2 kV/mm um 4 Zehnerpotenzen abgesunken auf $< 5 \cdot 10^{-4}$ mm/h (Bild 4; Kurve 1). In diesem Zusammenhang war überraschend, daß bei Zugabe von Spannungsstabilisatoren bzgl. der Korrelation zwischen mittlerer Feldstärke und Wachstumsgeschwindigkeit der TE-Kanäle analoge Ergebnisse (Bild 4) erzielt wurden. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die dabei verwendeten Spannungsstabilisatoren sogar noch den Vorwachsprozeß der TE-Kanäle beschleunigen [6] und die Aufbauzeit im Gegensatz zum PE ohne Spannungsstabilisator noch verkürzen.

Es muß also davon ausgegangen werden, daß entstandene Teilentladungskanäle in der PE-Isolierung bei spezifischen Beanspruchungen größer 2 kV/mm relativ schnell vorwachsen und somit die Kanaleinsatzzeit dominierend die Größe der Durchschlagzeit beeinflußt. Gestützt werden diese Ergebnisse durch Lebensdaueruntersuchungen an Modellkabeln mit Einschlüssen in der PE-Isolierung. So konnten an Modellkabeln mit kugelförmigen Eisenteilchen, die nach Beanspruchungszeiten bis zu 1000 Stunden bei mittleren Feldstärken größer 10 kV/mm durchschlugen, außer dem Durchschlagkanal keine weiteren TE-Kanäle an den restlichen Verunreinigungen gefunden werden. Man kann also auch bei diesen Versuchen davon ausgehen, daß ein einmal gezündeter TE-Kanal unaufhaltsam und verhältnismäßig schnell in der Isolierung vorwächst.

4. Schlußfolgerungen

Geht man von den bisherigen Überlegungen und Versuchsergebnissen aus, so ist bei den für PE-isolierte Mittel- und Hochspannungskabel angewendeten mittleren Betriebsfeldstärken von $E_m \geqq 2$ kV/mm mit einem sehr schnellen Vorwachsen von elektrischen TE-Kanälen ausgehend von möglichen Fehlstellen zu rechnen.

Es ist anzunehmen, daß die elektrische Lebensdauer der PE-Aderisolierung von Starkstromkabeln wesentlich von der Zeit bis zum Zünden eines ersten TE-Kanals bestimmt wird. Daraus ergeben sich erforderliche Maßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit von PE-isolierten Mittel- und Hochspannungskabeln, wie z. B. die konsequente Eingangskontrolle der Grundmaterialien, erhöhte Sauberkeitsbedingungen und technologische Überwachung der Fertigung und eine erzeugnisspezifische Stückprüfung, um Fehlstellen im Kabel vermeiden bzw. lokalisieren und beseitigen zu können.

Durch umfangreiche Investitionen entsprechend diesen Forderungen konnte in den letzten Jahren in den Kabelwerken Meißen und Nord (Schwerin)[2]) die Qualität der PE-isolierten Mittelspannungskabel ständig erhöht werden.

Für die PE-Aderisolierung von Hochspannungskabeln werden die Qualitätsanforderungen aufgrund der höheren mittleren Betriebsfeldstärken weiter steigen.

Deshalb wird unter anderem auch die Beimengung von Zusätzen zum PE, die die Langzeitfestigkeit der Kabelisolierung verbessern sollen, unumgänglich. Die Bemühungen bei der Suche nach geeigneten Spannungsstabilisatoren sollten entsprechend den hier vorgestellten Versuchsergebnissen darauf zielen, solche Zusätze einzusetzen, die bereits die Entstehung von elektrischen TE-Kanälen wesentlich behindern.

Literatur

[1] *Bahder, G.* u. a.: Development of extruded cables for UHV applications in the range 138 – 400 kV. CIGRE 1978, 21/11

[2] *Küllig, P.; Schierig, S.; Weißenberg, W.:* Erfahrungen mit Polyäthylen als Isolierstoff für Mittelspannungskabel. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 363 – 367

[3] *Küllig, P.:* Zum Einfluß von Fehlstellen auf die elektrische Lebensdauer von extrudierten Polyäthylen-Isolierungen bei Wechselspannungsbeanspruchung. Diss. A, TU Dresden 1982

[4] *Lemke, E.:* Ein neues Verfahren zur Messung von Teilentladungen an langen Hochspannungskabeln. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 358 – 360

[5] *Lemke, E.:* Zur Problematik der Ortung von Teilentladungs-Fehlstellen in plastisolierten Hochspannungskabeln. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 360 – 362

[6] *Petzold, F.; Küllig, P.:* Der Einfluß von Zusätzen auf das elektrische Langzeitverhalten von Polyäthylen-Isolierungen. ELEKTRIE, Berlin, in Vorbereitung

[7] *Petzold, F.; Schwarz, J.; Eberhardt, M.:* Einfluß der Diffusion von SF_6 auf die Kanaleinsatzzeit von Polyäthylen- und Epoxidharz-Modellisolierungen. ELEKTRIE, Berlin, in Vorbereitung

[8] *Löffelmacher, G.:* Über die physikalisch-chemischen Vorgänge bei der Ausbildung von Entladungskanälen in Polyäthylen und Epoxidharz im inhomogenen Wechselfeld. Diss. A. TU Hannover 1976

[9] *Griac, J.:* Beeinflussung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Teilentladungskanälen durch Zusatzstoffe im Polyäthylen. 25. Int. Wiss. Kolloquium TH Ilmenau (1980), Tagungsband H. 3-A 3; s. 33 – 36

[10] *Meier, N.:* Über das Durchschlagverhalten von mechanisch beanspruchtem Polyäthylen im inhomogenen Wechselfeld. Diss. A, TU Hannover 1975

[11] *Ulrich, J.:* Über den Einfluß der Temperatur auf das Durchschlagverhalten von Polyäthylen im inhomogenen elektrischen Wechselfeld. Diss. A, TU Hannover 1978

EA 5334

[2]) VEB Kabelwerk Meißen und VEB Kabelwerk Nord Schwerin im Kombinat Kabelwerk Oberspree Berlin

---

Noch lieferbar

Technologie des Elektroanlagenbaus

Hochschullehrbuch

Von *W. Beyer; W. Löschner; K. Bödeker*

VEB Verlag Technik. 1. Auflage 1982. 380 Seiten, 177 Bilder, 82 Tafeln. Kunstleder 25,— Mark.

Bestell-Nr. 552 9389

Die Entwicklung und wissenschaftliche Durchdringung des technologischen Prozesses im Elektroanlagenbau ist eine wichtige Aufgabe von gesamtvolkswirtschaftlichem Interesse. Die Herausarbeitung einer speziellen Technologie des Elektroanlagenbaus soll wesentlich dazu beitragen, die Phasen der Konstruktion, Projektierung des Errichtens und Betreibens von Elektroanlagen gezielt zu beeinflussen und damit einen durchgängig gestalteten Prozeß von der Auftragserteilung bis zur Inbetriebnahme von Elektroanlagen zu erreichen.

Aus dem Inhalt

- Charakteristik der Fertigung von Elektroanlagen
- Inhaltliche Bestimmung des Begriffs Elektroanlage
- Formen von Elektroanlagen und Elemente ihres Aufbaus
- Besonderheiten der Fertigung von Elektroanlagen
- Vorfertigung von Elektroanlagen als wesentliche Maßnahme zur Effektivitätserhöhung
- Vorbereitung und Durchführung technologischer Prozesse im Elektroanlagenbau
- Tätigkeitskomplexe der technologischen Fertigungsvorbereitung im Elektroanlagenbau
- Die mechanische Fertigung von Gefäßen
- Gestaltungsmöglichkeiten des Fertigungsablaufs bei der mechanischen Fertigung von Gefäßen
- Werkstattmontage von Elektroanlagen — Geräteeinbau und Verdrahtung
- Technologische Unterlagen der Werkstattmontage — Geräteeinbau und Verdrahtung
- Technologische Verfahren der Elektromontage
- Gestaltung des Fertigungsablaufs bei der Montage von Bausteinen
- Rahmen-Aufbau-System (RAS)
- Teilefertigung und Werkstattmontage von Automatisierungsanlagen
- Vorbereitung und Durchführung der Baustellenmontage von Elektroenergieanlagen
- Die charakteristischen Phasen bei der Vorbereitung und Durchführung einer Investition
- Die technischen Unterlagen der Vorbereitungsphase
- Die technologischen Unterlagen des Ausführungsprojekts
- Grundsatzarbeit und technologische Betreuung während der Baustellenmontage
- Industrielle Vorfertigung und Vormontage
- Durchführung der Baustellenmontage
- Die Prüfung der Elektroanlage

Die Redaktion

KURZBERICHTE

Abstimmung von Sicherheits- und Errichtungsvorschriften für elektrotechnische Anlagen mit der UdSSR

Das Fachministerium für Montage- und Spezialbau (MMSS) der UdSSR und das Ministerium für Elektrotechnik und Elektronik (MEE) der DDR stimmten in Fortsetzung gemeinsamer Standardisierungsarbeiten [1] [2] [3] folgende weitere Themenkomplexe zu den Errichtungsvorschriften für elektrotechnische Anlagen in den Jahren 1983/84 ab:

- Elektrotechnische Anlagen für gesellschaftliche Gebäude, Veranstaltungs- und Sportbauten
- Elektrotechnische Anlagen für ortsveränderlichen Einsatz
- Stromrichteranlagen und -einrichtungen
- Elektrotechnische Anlagen für brandgefährdete Zonen.

Bei den TGL-GOST-Abstimmungen konnten vereinheitlichte Grundforderungen sowie deren gemeinsame Anwendung zu den nachfolgend aufgeführten Bereichen vereinbart werden. Diese sind für alle Hersteller, Errichter und Betreiber elektrotechnischer Anlagen in der DDR und in der UdSSR sowie bei Export- und Importverpflichtungen mit dem gemeinsamen Einführungszeitpunkt für TGL 200-0628/01 [4] ab Januar 1984 bzw. für TGL 200-0630 [5] und TGL 200-0626 [7] ab Januar 1985 verbindlich und werden z. Z. in die geltenden Standards der Länder eingearbeitet.

1. Forderungen an gesellschaftliche Gebäude, Veranstaltungs- und Sportbauten

Für die in TGL 200-0628/01 [4] und in PUE VII-1 und 2 [8] festgelegten technischen Forderungen zu elektrotechnischen Anlagen in gesellschaftlichen Gebäuden, Veranstaltungs- und Sportbauten ist die einheitliche Anwendung

- sicherheitstechnischer Grundforderungen, z. B. Ausführung und Anordnung von Hauptverteilungen, Überstromschutzorgane und Steuerungen
- des Einsatzes von Kabeln und Leitungen für die Allgemeinbeleuchtung sowie auf Bühnen und Sporthallen
- der Auswahl, Anordnung und des Schutzes von Beleuchtungseinrichtungen

mit der UdSSR abgestimmt worden. Sie gelten nicht für Elektroanlagen im Freien und auf Schiffen für diesen Anwendungsbereich.

2. Forderungen an Anlagen für den ortsveränderlichen Einsatz

Elektrotechnische Anlagen, die für einen ortsveränderlichen Einsatz (z. B. zerlegbare Bauten, Trieb- und Anhängerfahrzeuge) vorgesehen sind und die der Erzeugung, Umsetzung, Verteilung und Verwendung von Elektroenergie nach TGL 200-0630 [5] bzw. PUE II-1 [9] und PUE I-7 [10] dienen, konnten ebenfalls erfolgreich mit der UdSSR abgestimmt werden. Vereinheitlicht wurden folgende Bereiche:

- Spezielle Begriffe, z. B. Anlagen für ortsveränderlichen Einsatz, zerlegbare und fahrbare Bauten
- Allgemeine sicherheitstechnische Forderungen zur Konstruktion und Dokumentation sowie zur Ausstattung (Einsatz von Überstromschutzeinrichtungen, Hauptschaltern und Steckverbindern) der ortsveränderlichen Anlagen
- Einsatz von elektrotechnischen Wärmegeräten, Leuchten und Abzweigdosen sowie von Kabeln und Leitungen in diesen Anlagen
- Forderungen an die Schutzmaßnahmen gegen gefährliche elektrische Durchströmung, z. B. geeignete und vorzugsweise anzuwendende Schutzmaßnahmen (Schutzschaltungen), Bedingungen zu deren Anwendung und Auslegung bei ortsveränderlichen Verbraucher- und Energieversorgungseinrichtungen
- Erfordernis und Nachweis von Inbetriebsetzungsprüfungen und Prüfung nach dem Wechsel des Aufstellungsortes.

Die mit der UdSSR getroffenen Festlegungen gelten nicht für spezielle ortsveränderliche elektrotechnische Anlagen, für die andere nationale Standards gelten. Dazu gehören: Anlagen, auf Schienenfahrzeugen, auf Hebezeugen und Aufzügen, auf Tagebaugeräten, auf Schiffen, von Schweißeinrichtungen sowie auf Fahrzeugen, soweit diese Anlagen der Funktion und/oder der Verkehrssicherheit dienen.

3. Forderungen an Stromrichteranlagen und -einrichtungen

Zu Halbleiter-Stromrichteranlagen und -einrichtungen für stationäre Stromrichterunterwerke nach TGL 200-0608/03 und /04 [6] bzw. PUE VI-3 [11], die zur Speisung industrieller Verbraucher verwendet werden, führten die Partner eine Abstimmung zu nachfolgenden Bereichen durch:

- Allgemeine technische Forderungen zur Energieversorgung, zu den Umgebungsbedingungen und zur Luft- bzw. Wasserkühlung von Stromrichtern
- Bau- und Sicherheitsbestimmungen für Stromrichteranlagen, wie
  - zulässige Isolationsspannungen und deren Prüfung
  - Schutzverkleidungen und zulässige Gangbreiten
- Aufbau der notwendigen Schutz-, Meß- und Meldeeinrichtungen für Transformatoren, Stromrichter und für die kompletten Stromrichteranlagen.

Diese Abstimmung erstreckte sich nicht auf Bahnunterwerke und spezielle Stromrichterunterlagen z. B. zur Gasreinigung.
Die Festlegung eines gemeinsamen Einführungstermins der vereinheitlichten Kennwerte zur Einführung in die nationalen Vorschriften der Länder erfolgte vorerst nicht, da eine erweiterte Bearbeitung bestehender RGW-Standards z. Z. vorgenommen wird und darin die oben genannten Ergebnisse einfließen werden.

4. Forderungen an brandgefährdete Zonen

Für elektrotechnische Anlagen, die nach TGL 200-0625 (7) und PUE VII-4 [12] in Räumen mit Brandgefährdung nach TGL 30042 [13] zum Einsatz kommen, wurden mit der UdSSR weiterhin Grundforderungen für den Einsatz von Betriebsmitteln sowie die in den Ländern angewendete Klassifikation der Brandgefährdung abgestimmt. Im einzelnen sind dies vereinheitlichte Festlegungen zu

- Begriffen und Klassen bzw. Brandgefährdungsgraden nach [7] bzw. [12]
- Mindestschutzgrade der Gehäuse von elektrotechnischen Einrichtungen und Betriebsmitteln nach ST RGW 778 [14] die für den Einsatz in Räumen mit Brandgefährdung bestimmt sind
- dem Einsatz von speziellen Betriebsmitteln, z. B. Elektrowärmegeräte, elektrische Leuchten und Schleifleitungen in diesen Räumen.

Weitere Abstimmungen mit den entsprechenden Fachministerien der UdSSR sind zu anderen Themenkomplexen zur Errichtung elektrotechnischer Anlagen im Perspektivzeitraum 1985 bis 1990 geplant und werden z. Z. vorbereitet.

Literatur

[1] *Kloust, H.:* Abstimmung von Sicherheitsvorschriften mit der UdSSR. Der Elektro-Praktiker, Berlin 33 (1979) 9, S. 295 – 296
[2] *Kloust, H.:* Abstimmung technischer Forderungen von Akkumulatoranlagen mit der UdSSR. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 3, S. 75
[3] *Kloust, H.:* Neue Ergebnisse der TGL-GOST-Abstimmungen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 8, S. 257 – 258
[4] TGL 200-0628/01 Elektrotechnische Anlagen in gesellschaftlichen Bauten; Starkstromanlagen. Ausg. Dezember 1971
[5] TGL 200-0630 Elektrotechnische Anlagen für ortsveränderlichen Einsatz. Beschlußentwurf März 1984
[6] TGL 200-0608/03 Stromrichteranlagen, -geräte und Stromrichter; Allgemeine technische Forderungen. Ausg. April 1977. TGL 200-0608/04 – ; Bau- und Sicherheitsbestimmungen. Ausg. April 1977
[7] TGL 200-0625 Elektrotechnische Anlagen in Abhängigkeit von der Brandgefährdung. Ausg. November 1983
[8] PUE VII-1 Errichtungsvorschriften elektrotechnischer Anlagen; Elektrotechnische Betriebsmittel für Sonderanlagen; Elektrotechnische Betriebsmittel für Wohn- und Gesellschaftsbauten. Ausg. 1980
PUE VII-2 Elektrotechnische Betriebsmittel für Veranstaltungsbetriebe, Klubeinrichtungen und Sportanlagen. Ausg. 1980
[9] PUE II-1 Elektrotechnische Installation. Ausg. 1976
[10] PUE I-7 Erdung; Elektrotechnische Schutzmaßnahmen. Ausg. 1983
[11] PUE VI-3 Stromrichterstationen und -anlagen, Ausg. 1976
[12] VII-4; Elektrotechnische Anlagen in brandgefährdeten Zonen. Ausg. 1976
[13] TGL 30042 GAB; Verhütung von Bränden und Explosionen; Allgemeine Festlegungen für Arbeitsstätten. Ausg. Juni 1977
[14] ST RGW 778 Elektrotechnik; Schutzgrade, die durch Gehäuse gewährleistet werden; Bezeichnungen, Prüfverfahren. Ausg. September 1979

H. Kloust[1]), Berlin

EA 1735

[1]) Ing. Ing. *H. Kloust* ist leitender wissenschaftlicher Mitarbeiter und Koordinierungsbeauftragter für TGL-GOST-Abstimmungen im Kombinat Automatisierungsanlagen, Berlin.

Hinweis

In einem der nächsten Hefte der Fachzeitschrift ELEKTRIE können Sie einen weiteren Beitrag über die Ergebnisse der Zusammenarbeit von sowjetischen und DDR-Fachleuten bei der gemeinsamen Abstimmung wichtiger Vorschriften lesen.

H. Kloust wird zum Thema:

Abstimmung der Vorschrift zur ökonomischen Bewertung der Zuverlässigkeit von Automatisierungsanlagen mit Prozeßrechentechnik

berichten. Die Redaktion

Mitteilungen des Nationalkomitees CIGRE der DDR

Statistik der einpoligen Erdfehler auf Hochspannungsfreileitungen in Netzen mit starrer Sternpunkterdung

Aus der Arbeit des SC 36

Die WG 36.02 (Auswirkungen auf Informationsstromkreise, Niederspannungssysteme und metallische Bauwerke) des Studienkomitees 36 (Beeinflussungen) veröffentlichte in Electra Nr. 91 (1983) das Ergebnis internationaler Befragungen zur Erdfehlerstatistik. Anzahl und Dauer von einpoligen Erdkurzschlüssen dienen als Grundlage für die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit von Störungen in Informationsanlagen, hervorgerufen durch induktive Beeinflussung, und der Gefahr für Personen, die an diesen Anlagen arbeiten. Insgesamt berichten 22 Energieversorgungsunternehmen aus Europa, Indien und Übersee. Erfaßt wurden Freileitungen mit Nennspannungen von 110 kV bis 500 kV und 1312460 Kilometerjahre. Von den Freileitungen hatten 87,1% Erdseile über die gesamte Länge, während dies bei 12,9% nicht der Fall war.

Von den detaillierten Angaben sind in Tafel 1 nur einige Länder mit größeren Erfassungszeiträumen und Systemlängen zusammengestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß Hochspannungsfreileitungen ohne Erdseile eine unvertretbar große Anzahl und Dauer von Erdfehlern aufweisen. Obwohl keine besonderen Angaben zum eingesetzten Netzschutz gemacht werden, läßt die Tafel erkennen, daß es mit einem modernen Relaisschutz möglich ist, die mittlere Fehlerdauer unter 0,15 s teilweise sogar unter 0,1 s zu halten, was nicht nur für die induktive und galvanische Beeinflussung von Informationsanlagen, sondern auch für die Gefährdung von Personen durch Schritt- und Berührungsspannungen, die sich in der Nähe der Fehlerstellen aufhalten, oder sich in den Umspannwerken befinden, von Bedeutung ist. Die Mittelwerte aller Angaben für Leitungen mit Erdseilen sind folgende:

110—150 kV	3,27/100 km · a	0,24 s
187—275 kV	2,21/100 km · a	0,18 s
320—500 kV	1,4 /100 km · a	0,16 s.

Die im 380/220-kV-Netz der DDR in den letzten 18 Jahren aufgetretene mittlere Quote von 2,04 Erdkurzschlüssen je 100 km und Jahr mit einer mittleren Fehlerdauer von 0,13 s ordnet sich in diese internationale Statistik gut ein.

H. Pundt, Dresden EA 1759

Tafel 1. Zur Statistik von Erdfehlern (Auszug aus Tafel 1 in Electra 91 (1983) S. 138/139)

Land	U in kV	l in km	Jahre	Fehleranzahl je 100 km · a	Fehlerdauer in % <0,35 s	0,35 – 0,5 s	>0,5 s	Mittlere Fehlerdauer in s
Frankreich	225	21208 (o.E.)	5	13,42	63	8	29	0,42
	400	2603 (o.E.)	5	15,9	87	7	6	0,31
	400	3449	5	3,58	87	7	6	0,31
Italien	130	14560	8	5,76	80	10	10	0,2
	150	5742	8	4,35	85	8	7	0,2
	220	11009	8	3,84	85	10	5	0,15
	380	1857	8	3,52	85	10	5	0,1
BRD	220	8753	5	2,3	97	3	0	0,13
	380	2319	8	2,3	95	5	0	0,12
Großbritannien	132	16803	6	0,71	97,6	2,2	0,2	0,15
	275	4445	8	0,9	99,5	0	0,5	0,15
	400	6671	8	0,78	98,9	0,3	0,8	0,14
Japan	187	3124	5	1,34	100	0	0	0,09
	220	2874	5	0,86	100	0	0	0,09
	275	9778	5	1,11	100	0	0	0,08

In 3. stark bearbeiteter Auflage erscheint in Kürze im VEB Verlag Technik

Mikrorechner

Wirkungsweise — Programmierung — Applikation

Von *W. Schwarz, G. Meyer, D. Eckhardt.*

Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 3., stark bearbeitete Auflage. 358 Seiten, 318 Bilder, 22 Tafeln. Kunstleder 32,— Mark.
Bestell-Nr.: 553 1980

Das Buch vermittelt in anschaulicher und systematischer Darstellung Grundlagen und anwendungsspezifische Kenntnisse über den Aufbau, die Wirkungsweise und den Einsatz von Mikrorechnern. Das Buch stellt vor allem funktionelle und programmtechnische Aspekte in den Vordergrund und wendet sich damit an alle, die sich mit der Einsatzvorbereitung von Mikrorechnern beschäftigen oder sich in diese Problematik einarbeiten wollen.

Die vorliegende Auflage ist überarbeitet und modernisiert worden. Wesentlich erweitert wurde der Abschnitt über höhere Programmiersprachen. Ein instruktives Applikationsbeispiel vermittelt neue Anregungen, und der Anhang wurde als Arbeitsmaterial für den Mikrorechneranwender völlig neu gestaltet. Überholte Beispiele sind durch aktuelle ersetzt, und ein Abschnitt über Einchipmikrorechner ist eingefügt worden.

Die Redaktion

FACHTAGUNGEN

Sicherheit an elektrotechnischen Anlagen

18. Informations- und Fachtagung für Errichter und Betreiber elektrotechnischer Anlagen

Der Arbeitsausschuß „Starkstromanlagen" der KDT Suhl führt jährlich mit den Betriebssektionen der KDT des Staatlichen Amtes für Technische Überwachung Zella-Mehlis und des VEB Energiekombinates Suhl Veranstaltungen zu ausgewählten Problemen der Sicherheit an elektrotechnischen Anlagen durch.

Die 18. Veranstaltung am 22. März 1984 besuchten 400 Fachkollegen. Auf Grund des ungewöhnlichen Interesses und starken Zuspruchs wurde die Tagung für weitere 300 Interessenten am 22. Mai 1984 wiederholt.

Im Vordergrund stand die Behandlung aktueller Probleme der rationellen Energieanwendung mit einem Beitrag vom Koll. Ing. *Srokos*, VEB EKS Suhl, Sitz Meiningen, und Vorsitzender der BFS „Energiewirtschaft" der KDT Suhl.

Dipl.-Ing. *Schnor*, VEB NARVA Berlin, stellte die Neuentwicklungen des Kombinates vor, u. a. die Leuchtstofflampe (36 W) mit reduziertem Glasdurchmesser, weiterentwickelte Vorschaltgeräte für LS und Abschalteinrichtungen für NA-Vorschaltgeräte sowie die neuen leistungsreduzierten NA-Lampen. Eindeutig wurde herausgearbeitet, mehr Licht mit weniger Material und Energie anzubieten.

Koll. Ing. *Pfefferkorn*, Staatliches Amt für Technische Überwachung Zella-Mehlis, zeigte an 4 Unfällen eindeutige Beispiele von Fehlverhalten von Werktätigen und Verstöße gegen bestehende Rechtsvorschriften auf.

Der Themenkomplex „Arbeiten unter Spannungen" mit Beiträgen vom Koll. Ing. *Voigt*, VEB Energiekombinat Dresden, Koll. Ing. *Kreutzmann*, VEB Gebäudewirtschaft Ilmenau, und Koll. Ing. *Bauer*, VEB EKS Suhl, vermittelten eine Vielzahl von Beispielen und Erfahrungen, die den Tagungsteilnehmern bewußt werden ließ, welchen fortgeschrittenen Stand diese Technologie seit ihrer Einführung im Jahr 1972 erreicht hat.

Die breitere Anwendung dieser modernen Technologie, für die der VEB Werkzeugkombinat Schmalkalden ein international anerkanntes Werkzeugsortiment liefert, muß sich auch in Industrie- und Installationsbetrieben noch mehr durchsetzen.

Die Tagungsteilnehmer erhielten ein Tagungsmaterial, das im Tagungsband 73 zusammengestellt wurde und über den Bezirksverband der KDT Suhl noch erhältlich ist.

W. Feix, Suhl EA 1767

Erdungstechnik

Planmäßige Konsultation in Baku im Oktober 1983

In der Zeit vom 9. bis 19. 10. 1983 fand eine planmäßige Konsultation in der aserbaidshanischen Erdölmetropole Baku statt.

Die DDR-Delegation stand unter der bewährten Leitung von Dr.-Ing. *Feydt*, der nicht nur in unserem Land, sondern auch bei den Erdungsfachleuten der UdSSR durch Veröffentlichungen, Konsultationen und Seminare bekannt und geachtet ist.

Gastgeber für die sibirischen Kollegen und für uns war diesmal die energetische Fakultät der Hochschule für Erdöl und Chemie und die Arbeitsgruppe der UdSSR für die Arbeit im SC 36 der CIGRE unter Leitung von Professor *Kerimov* (Einen Beitrag zur Arbeit des SC 36 der CIGRE finden Sie auf S. 313).

Neben fachlichen Beratungen fand ein Seminar zu Erdungs- und Korrosionsproblemen statt, bei dem auch Dr.-Ing. *Feydt* als Vortragender wirkte. Wir erhielten Kenntnis von interessanten und vielversprechenden Forschungen auf dem Gebiet der Minderung der Korrosion erdverlegter metallener Leiter. Die Bedeutung dieser Arbeiten beschrieb ein sowjetischer Kollege sehr treffend so:

„Korrosion ist ein Vorgang, bei dem ständig Geld in die Erde abwandert. Unsere Aufgabe ist es, dies zu verhindern."

Angesichts der unzähligen Bohrtürme in der Umgebung von Baku wird jedem bewußt, welche Bedeutung die Verminderung der Korrosion gerade für die Erdölindustrie besitzt.

Natürlich bemühen sich unsere Gastgeber, etwas von ihrer schönen alten und neuen Stadt zu zeigen. Interessant sind die Basare mit vielen, daheim unbekannten Früchten. Die Millionenstadt am Kaspischen Meer liegt auf der geographischen Breite von Madrid und hat entsprechendes Klima. Moderne Bauten und der enorme Autoverkehr auf bis zu 6 Fahrspuren prägen das Bild der Stadt ebenso, wie die freundlichen Menschen und die vielen restaurierten Bauten aus der langen Geschichte dieses Landes. Vieles mutet orientalisch an.

Die wenigen Tage vergingen sehr schnell. Zurück nach Moskau flogen wir mit unseren sibirischen Kollegen. Die Flugroute führte etwa 1 Stunde über das Kaspische Meer, mit herrlichem Blick auf den Kaukasus. Nach einem kurzen Besuch des Moskauer Zentrums und herzlichem Abschied auf dem neuen, modernen Flughafen Šeremetjevo II traten wir den Heimflug nach Berlin an.

Diese Reise brachte neue Erkenntnisse für die weitere Arbeit sowie interessante Begegnungen und Erlebnisse. Sie war Ausdruck der erfolgreichen, nunmehr schon 10 Jahre währenden Zusammenarbeit nicht nur zwischen den Vertragspartnern, sondern auch den beiden Ländern. (Mehr dazu im Beitrag auf S. 283 in diesem Heft).

R. Laux, Karl-Marx-Stadt EA 1766

Optische Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von PLZT-Keramiken

109. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der TH Karl-Marx-Stadt

Vom Referenten, Herrn Dr. rer. nat. *Arndt* von der Sektion Physik der Martin-Luther-Universität Halle, wurde einleitend erläutert, daß ferroelektrische Eigenschaften u.a. an Einkristallen und speziellen Keramiken feststellbar sind, daß dabei Keramiken den Vorteil haben, einfacher als Einkristalle herstellbar zu sein, daß durch das Preßverfahren leicht eine Massenproduktion aufgenommen werden kann und daß durch geeignete Dotierung bestimmte Temperaturgebiete festgelegt werden können und nachträglich eine Orientierung möglich ist.

Bereits seit 1969 ist bekannt, daß eine optisch transparente Keramik durch eine geeignete Zusammensetzung aus Bleioxid (PbO), Lanthanoxid (La_2O_3), Zirkonoxid (ZrO_2) und Titanoxid (TiO_2) herstellbar ist (PLZT-Keramik). Wesentliche Arbeitsgänge zur Herstellung sind das Mischen, die Vorverdichtung unter Beachtung spezieller Gaspartialdrücke und das Heißpressen bei 25 MPa und 1200 °C im Zeitraum von 16 Stunden. Das dabei entstehende Material ist porenfrei und besitzt die Eigenschaft, daß durch ein äußeres elektrisches Feld der Brechungsindex verändert werden kann. Die Polarisation als Funktion der Feldstärke bildet eine Hysteresekurve ähnlich der von Ferromagnetika her bekannten *B-H*-Kennlinie. Bei Abschalten des äußeren elektrischen Feldes bleibt eine permanente Polarisation bestehen, die durch Erhitzen oder Anlegen eines Gegenfeldes gelöscht werden kann. Die dadurch entstandene Speicherwirkung und die durch die Polarisation hervorgerufene Doppelbrechung bieten Ansatzpunkte für verschiedenartigste Anwendungsfälle. So wurden Beispiele genannt, wie die elektrisch gesteuerte Lichtstreuung mittels eines Lichtstreumodulators zur Herstellung einer Konstant-Lichtquelle bzw. zur Informationsübertragung in Glasfasern (integrierter optischer Modulator) benutzt werden kann. Technisch realisierbar sind z.B. elektrooptische Modulatoren, Güteschalter für die Laser-Technik oder ein vollelektronisch arbeitender Lichtverschluß für Kameras. Unter Ausnutzung der remanenten Polarisation ist auch eine optische Bildspeicherung möglich. Es wurden bereits erfolgreiche Versuche unternommen, Großflächenbildschirme mittels einer PLZT-Matrix und 7-Segment-Ziffernanzeigen zu realisieren. Letztere hätten den Vorteil, daß sie unter größeren Sichtwinkeln erkennbar sind als herkömmliche LCD-Anzeigen. Dünne PLZT-Schichten zeigen eine Abhängigkeit der Transparenz vom Druck, so daß auch Möglichkeiten für einen mechanisch-optischen Drucksensor gegeben sind.

Ausführlich wurde auf die Funktion bereits entwickelter Modelle für eine Lichtschutzbrille (z.B. für Schweißarbeiten) eingegangen. Dort wird mittels eines Sensors die Helligkeit ausgewertet und in Abhängigkeit davon über die elektrische Spannung die Polarisation in der als „Brillenglas" fungierenden PLZT-Keramik beeinflußt. Polarisator und Analysator befinden sich auf der jeweiligen PLZT-Oberfläche.

In der Diskussion wurden hauptsächlich Fragen des praktischen Einsatzes behandelt. Es kam zum Ausdruck, daß sich Anwendungsprobleme ergeben, da mit Spannungen im 100-V-Bereich gearbeitet werden muß und da die elektrisch gesteuerte Transparenz Temperaturen um 50 °C erfordert und stark temperaturabhängig ist. Die Schaltzeiten liegen im 100 µs-Bereich.

F. Naumann, Karl-Marx-Stadt EA 1762

Bild 1. Fachkollegen und Freunde aus Sibirien, Aserbaidschan und der DDR

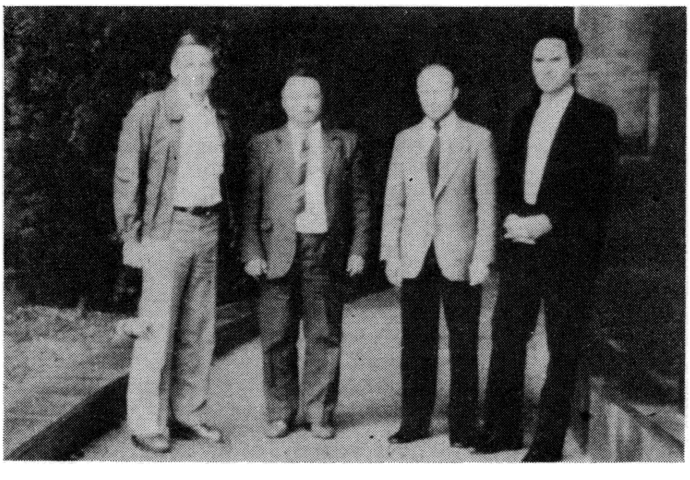


Bild 2. Die aserbaidschanische Hauptstadt Baku liegt malerisch an einer Bucht des Kaspischen Meeres

9. Fachtagung „Galvanotechnik“

Die Fachtagungen „Galvanotechnik“ des Arbeitsausschusses Galvanotechnik der Kammer der Technik, Bezirksverband Karl-Marx-Stadt, besitzen schon Tradition.

Wiederum wurde den Veranstaltungsteilnehmern der am 13. Juni 1984 in Karl-Marx-Stadt bereits zum 9. Male durchgeführten Tagung eine fachlich interessante Problematik geboten.

Der Tagungsleiter war Dr. rer. nat. *H. Resch*, Vorsitzender des Arbeitsausschusses Galvanotechnik Karl-Marx-Stadt.

Um dem breiten Teilnehmerkreis gerecht zu werden, hatte das Tagungsprogramm wie immer Querschnittscharakter.

Im einzelnen gelangten folgende Problemstellungen zum Vortrag:

Ing. *J. Göhler*, Dipl.-Ing. *W. Sickert*, VEB Robotron, Karl-Liebknecht-Werk Oelsnitz/Erzgeb.; Dr. rer. nat. *H. Resch*, TH Karl-Marx-Stadt:

Praktische Erfahrungen bei der chemischen Vernicklung

Nach mehr als 10jährigem Betrieb wurden in der Praxis gesammelte Erfahrungen bei der stromlosen Nickelabscheidung vorgestellt. Die Anlage wurde 1973 in Gemeinschaftsarbeit mit dem Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt und dem VEB Galvanotechnik Leipzig entwickelt, projektiert und gebaut. Neben Darlegungen über den Aufbau und die Wirkungsweise der Anlagentechnik wurden verfahrenstechnologische und gestelltechnische Probleme besprochen sowie Anwendungsbeispiele und Preisvergleiche aufgezeigt.

Faching. *H. Rudolph*, VEB Tisora Karl-Marx-Stadt:

Umweltschutz in der Galvanotechnik

Nach der Definition der Begriffe Umwelt und Umweltschutz sowie der Darstellung der Verflechtung des Umweltschutzes mit allen Bereichen der Volkswirtschaft, wurden gesetzliche Forderungen für einzuleitende Maßnahmen bei Abluft-, Abwasser- und Schlammanfall in der galvanotechnischen Produktion erörtert. An einem konkreten Beispiel wurde erläutert, welche Effekte bei der Werkstoffrückgewinnung und Abwasserbehandlung in Abhängigkeit spezieller betrieblicher Verhältnisse erzielt werden können.

Dipl.-Chem. *L. Lange*, VEB Kontaktbauelemente und Spezialmaschinenbau Gornsdorf:

Chemische Auflösung von Zinn/Blei-Schichten bei der Kontaktkammveredlung von Leiterplatten

Es wurde im Vortrag eine neue „Stripper“-Lösung (Entmetallisierungslösung) vorgestellt, die Zinn/Blei-Schichten mit Schichtdicken bis 20 µm innerhalb von 7 Minuten vollständig chemisch auflöst, ohne dabei die darunter liegende galvanisch abgeschiedene Glanzkupferschicht anzugreifen. Die Lösung zeichnet sich durch einfache Handhabung und problemlose Nachdosierbarkeit aus. In der betrieblichen Anwendung bewährt sich dieses Auflöseverfahren (Patentanmeldung ist erfolgt).

Dr. rer. nat. *H. Schnabel*, VEB Robotron, Zentrum für Forschung und Technik Karl-Marx-Stadt:

Nichtstationäre selektive Metallabscheidung

Es wurde ein Überblick über die verschiedenen Varianten der ortsgebundenen und der nichtstationären selektiven elektrochemischen Metallisierungsverfahren gegeben. Insbesondere wurde auf das sogenannte Tampongalvanisieren eingegangen und dessen Besonderheiten im Vergleich zu den üblichen Verfahren der Galvanotechnik herausgestellt. Eine Eigenentwicklung zum selektiven Verzinken und Vernickeln mittels Galvanisierstift bzw. -pistole wurde erwähnt.

Ing. *P. Schultheiß*, Dr. rer. nat. *H. Resch*, TH Karl-Marx-Stadt:

Coulometrische Schichtdickenmessung elektrolytisch abgeschiedener Schichten

Es wurde eine Laborentwicklung eines coulometrischen Meßgerätes vorgestellt, das sich durch große Einsatzbreite auszeichnet. Neben der eigentlichen Schichtdickenmessung gestattet das Verfahren auch die Untersuchung von Legierungsschichten. Die Prüfung erfolgt zerstörend durch elektrochemische Schichtablösung, wobei der Prüffleck etwa nur 7 mm² beträgt. Die Ergebnisse sind gut reproduzierbar und stimmen mit Meßwerten anderer Verfahren überein. Über Nachnutzung ist die Geräte- und Verfahrensdokumentation beziehbar.

In den Vortragsdiskussionen und Tagungsgesprächen kam deutlich zum Ausdruck, daß diese Veranstaltung den fachgebietsbezogenen Informations- und Erfahrungsaustausch weiter gefördert und dazu beigetragen hat, um die Verflechtung der Galvanotechnik mit unterschiedlichen Industriezweigen (Elektrotechnik/Elektronik, metallverarbeitende Industrie usw.) zu verdeutlichen. Galvanotechnische Prozesse sind elektrotechnologische Prozesse und deshalb weithin von Interesse. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für die Fortführung derartiger Fachveranstaltungen.

H.-M. Oßwald, Hohenstein-Ernstthal

EA 1768

Wir empfehlen aus dem Literaturangebot des VEB Verlag Technik

VEM-Handbuch
Elektroenergieanlagen — Anlagenteile

Autorenkollektiv. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 3., stark bearbeitete Auflage. 507 Seiten, 378 Bilder, 135 Tafeln. Kunstleder 44,— Mark.
Bestell-Nr.: 553063 8

VEM-Handbuch
Elektroenergieanlagen — Anlagentechnik

Autorenkollektiv. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 1. Auflage. 448 Seiten, 262 Bilder, 103 Tafeln. Kunstleder 40,— Mark.
Bestell-Nr.: 552718 0

Die Redaktion

ZEITSCHRIFTEN

Asynchronlaufschutz von Synchrongeneratoren

Gamm, B. S.: Električestvo (1982) 9, S. 21 bis 27

Der Asynchronlaufschutz von indirekt gekühlten Turbogeneratoren findet in der UdSSR breite Anwendung zur Erhöhung der Versorgungssicherheit. Dagegen führt der asynchrone Betrieb von direkt gekühlten leistungsstarken Turbogeneratoren zu großen Schwankungen der Wirkleistung, unzulässigen Strömen und einen schnellen Temperaturanstieg der Endpakete des Ständers und Wickelköpfe, sowie einer bedeutenden Spannungsabsenkung im Eigenbedarf. Die großen Leistungsschwankungen des Generators während des Asynchronbetriebes und der Spannungsabfall im Netz können einen Stabilitätsverlust des gesamten Systems bewirken. Gerade dieser Sachverhalt erfordert eine spezielle Automatik, die die Asynchronregime der Generatoren aufspürt, ihre Gefährlichkeit einschätzt und die entsprechenden Steuereinwirkungen zur Vermeidung einer Ausbreitung dieses Zustandes bzw. eine Systemhavarie auslöst.

Somit kann man den Asynchronlauf der Generatoren als anormalen Betriebszustand definieren, der bei einem Durchdrehen des Läufers im Verhältnis zum Ständerfeld vorhanden ist. Das Auftreten eines solchen Regimes ist von dem Verhältnis der Regimeparameter der Übertragung E_{q0}/U_0 (Luftspalterregung des Generators/Spannung am Lastende der Übertragung bei Normalbetrieb) und den Parametern von Generator und Netz bei gegebenem mittlerem Schlupf s bedingt. Der Asynchronlaufschutz und die Automatik zur Aufhebung des Asynchronlaufes müssen selektiv wirken und tote Zonen ausschließen, da der Asynchronlaufschutz den Generator-Trafo-Block schützt und die Automatik die angeschlossene Leitung oder im allgemeinen das angeschlossene System. Der Asynchronschutz gehört zur Antihavarieautomatik des Blockes, denn die Ursachen des Asynchronregimes mit seinem Pendelzentrum im Block (vollständiger oder teilweiser Erregungsverlust) und die Maßnahmen seiner Liquidierung (Turbinenentlastung, Entregung des Rotors, Abschalten des Blocks) haben lokalen Charakter. Jedoch entsteht der Asynchronbetrieb heute meistens infolge des Verlustes der statischen und dynamischen Stabilität eines Teiles vom gesamten elektroenergetischen System, und die Steuereinwirkung von der Automatik zur Aufhebung des Asynchronlaufes muß hierbei Systemcharakter (Systemteilung, Abschaltungen von Generatoren und Verbrauchern in den getrennten Systemteilen usw.) haben. Im weiteren wird der Asynchronlauf mit dem Pendelzentrum im Generator-Trafo-Block betrachtet.

Mittels analytischer Ausdrücke auf der Grundlage einiger Vereinfachungen wurden die Ansprechgebiete des Asynchronlaufschutzes in der Ebene mit der Ordinate E_{q0}/U_0 und s als Abzisse ermittelt. Die Grenzen dieser Ansprechzonen trennen das Asynchronregime mit dem Zentrum der Schwankungen im Generator-Trafo-Block und den Asynchronlauf mit dem Zentrum

außerhalb des zu schützenden Objektes, welches von den Meßgliedern fixiert werden muß. Der Generator geht mit seiner Frequenzcharakteristik in Form eines komplexen Widerstands in den analytischen Ausdruck ein. Als Parameter zur Feststellung des Asynchronregimes wurden eine entscheidende Regimegröße, der innere Polradwinkel bis zu den Generatorklemmen δ_G, und die indirekten Regimegrößen, wie Blindleistung des Generators Q_G, Erregerstrom I_E und der an den Generatorklemmen gemessene Widerstand Z, untersucht. Es zeigte sich, daß bei δ_G und dem Widerstand Z die Ansprechbedingungen im gesamten Schlupfbereich $0 \leqq s \leqq \infty$ identisch sind. Die Eingangsgröße I_E kann prinzipiell ein Fehlansprechen des Meßgliedes bei Generatoren mit relativ kleinen induktiven Streuwiderständen des Ständers und der Erregungswicklung nicht ausschließen.

Es finden folgende Ansprechwerte $\delta_G \leqq \pi$; $I_E \leqq 0$ und $Q_G \leqq Q_{G\,\mathrm{normal}}$ Anwendung. Bei den Z-Meßgliedern werden die Grenzwerte durch die Charakteristik des Widerstandsrelais bestimmt. Die Ansprechcharakteristik von Z-Meßgliedern sichert eine absolute Selektivität zu Asynchronläufen mit einem Schwankungszentrum außerhalb des Generator-Trafo-Blocks und eine Unempfindlichkeit zu stark untererregten Regimen ab. Die Möglichkeit des Abfilterns der Ansynchronregime von den Regimen der synchronen Langzeitschwankungen wurde speziell betrachtet. Es zeigte sich, daß das Z-Meßglied bei synchronen Pendelungen des zu schützenden Generators falsch ansprechen kann, und damit einen wesentlichen Nachteil besitzt. Ausreichend große Unempfindlichkeitszonen für die synchronen Schwankungen wurden bei den Parametern δ_G und I_E ermittelt, wobei sich bei I_E mit Erhöhung der Frequenz von den synchronen Langzeitschwankungen die Unempfindlichkeitszone wesentlich verkleinert.

Es dürfte in vielen Fällen günstiger sein, indirekte Parameter anstelle des inneren Generatorpolradwinkels δ_G für das Ansprechorgan zu verwenden, wenn gleichzeitig die Gebiete des fehlerhaften Ansprechens liquidiert werden können. Man stellt ein Ansprechorgan auf der Grundlage des Erregerstroms oder der Blindleistung mit zusätzlicher Schlupfkontrolle vor, das sich mit heutiger Technik sehr einfach realisieren läßt. Bei Verwendung der Blindleistung erfolgt eine Blockierung bis zu einem bestimmten Schlupf, der den minimal erforderlichen Schlupf für ein stationäres Asynchronregime charakterisiert. Dieses Q-Meßglied sichert die nötige Selektivität und eine Unempfindlichkeit für synchrone untererregte Regime ab. Das Meßglied für verschiedene indirekte Parameter wurde erfolgreich auf einem elektrodynamischen Modell getestet. Nach dem Erkennen des Asynchronlaufes muß seine Zulässigkeit für einen Betrieb über eine längere Zeit eingeschätzt werden, die durch zwei Kennwerte bestimmt wird:

1. Der Ständerstrom des Generators ist nach oben durch den maximal technisch vertretbaren Strom begrenzt, um Beschädigungen des Generators zu vermeiden.

2. Die Generatorklemmenspannung darf nicht unter einen Minimalwert absinken, damit die Stabilität der parallel geschalteten Generatoren nicht gefährdet und der Blockeigenbedarf aufrechterhalten wird.

Auf Grund des Vektordiagramms vom Generator und Netz für den stabilen Asynchronlauf kann dann die Dosierung der Steuereinwirkung vorgenommen werden. Das Steuerorgan stellt sich als Element mit nichtlinearer Charakteristik entsprechend der Frequenzcharakteristik des modellierten Systems dar. Als Eingangssignal dient der Schlupf des Asynchronregimes und das dosierte Ausgangssignal wirkt auf die Ausführorgane des Systems. Mit den drei Komponenten des Ständerstromvektors übereinstimmend sind die Maßnahmen zur Überführung des Asynchronbetriebes in den zulässigen Bereich gegeben:

1. Erregungsabschaltung
2. Turbinenentlastung zur Verkleinerung des Schlupfes
3. der Ausgleich von der elektrischen und magnetischen Unsymmetrie in der d- und q-Achse des Generators.

Da bekannt ist, daß selbst bei totalem Erregungsverlust noch bedeutende Schwankungen der Regimeparameter infolge der axialen Unsymmetrie des Generators beim Asynchronregime auftreten, wurden entsprechende Widerstände des Generators synthetisiert. Für die Hydrogeneratoren SWF 1690/175-64 des Kransnojarsker Wasserkraftwerkes sind das z. B. ohmsch-induktive Widerstände, die bei Asynchronlauf die Erregungswicklung des Generators nach ihrer Abschaltung mit dem Entregungsschalter schließen.

E. Großmann, Berlin EA 1353

Das Einheitliche Energiesystem der UdSSR im 11. Fünfjahrplan (1980 bis 1985)

Maksimov, A. I.: Električestvo (1982) 10, S. 1 bis 4

In diesem Artikel wird der heutige Ausbauzustand des Einheitlichen Energiesystems der UdSSR (EESU) dargestellt und auf die Hauptentwicklungsrichtungen in den 80er Jahren hingewiesen. Im EESU werden rund 90% der Elektroenergie der UdSSR erzeugt. Bei dem Verbundbetrieb des EESU mit den Landesnetzen der VR Bulgarien, SR Rumänien, ČSSR, Ungarische VR, DDR, VR Polen und Mongolische VR hat dieses gigantische gekoppelte Elektroenergiesystem der sozialistischen Länder eine installierte Kraftwerksleistung von 320000 MW, davon entfallen allein 230000 MW auf das EESU. Die Kraftwerksleistung des EESU teilt sich folgendermaßen auf: 74,2% — Wärmekraftwerke, 6,5% — Kernkraftwerke, 19,3% — Wasserkraftwerke. Es wird eingeschätzt, daß man beim Verbundbetrieb der Energiesysteme des EESU im Vergleich mit ihrem isolierten Betrieb 12000 MW Kraftwerksleistung einspart. Außerdem konnte im Zeitraum von 1975 bis 1981 der spezifische Brennstoffverbrauch im EESU von 340 auf 327 g/kWh hauptsächlich mittels Regimeoptimierung gesenkt werden. Eine optimale Kraftwerksleistungsverteilung soll mit neuen Kernkraftwerken von 6000 bis 7000 MW und Erweiterung der bestehenden Wasserkraftwerke, Heizkraftwerke und großen Energiekomplexe auf der Basis von Ekibastuser und Kanskoatschinsker Kohle sowie Gas aus Tjumen erreicht werden. Zur Spitzenlastabdeckung wird der Bau von Wasserkraftwerken, Pumpspeicherwerken, Gasturbinen- und Dampfgaskraftwerken forciert. Die maximale Blockleistung wird in Wärmekraftwerken 1200 MW und in Kernkraftwerken 1500 MW in den 80er Jahren betragen.

Die Energiesysteme Süden, Nordwesten und Zentrum sollen bis 1990 durch einen 750-kV-Ring mit Abgängen in die Energiesysteme der sozialistischen Länder geschlossen werden. Zur besseren Ausnutzung der Spitzenlastkraftwerke in Sibirien ist eine 1150-kV-Leitung Sibirien-Kasachstan-Ural geplant. Die 1500 kV Hochspannungsgleichstromübertragung Ekibastus — Zentrum soll zwischen 1985 und 1990 in Betrieb gehen. Zur Senkung der Netzverluste und Verbesserung der Spannungsregelung werden Blindleistungsquellen einer Leistung von 30000 Mvar, davon 5000 bis 6000 Mvar Synchronphasenschieber, installiert. Der sichere Betrieb des EESU wird hauptsächlich mittels der Antihavarieautomatik abgesichert, die eine Ausbreitung von Havarien vermeidet. Im EESU sind heute schon 1000 Antihavarieautomatiksysteme installiert, die auf 300 Turbo- und 200 Hydrogeneratoren einwirken. Große Bedeutung wird der automatischen Frequenzentlastung und der speziellen Lastabschaltautomatik beigemessen.

E. Broßmann, Berlin EA 1400

Änderungen der Forderungen an die Elektroenergiequalität in der UdSSR

Šešelenko, I. V.; Nikoforova, V. N.: Električestvo (1983) 1, S. 61—63

Der Standard GOST 13109-67 „Elektroenergiequalität" vom 1. 1. 1970 wurde überarbeitet und aktualisiert. Grundsätzliche Änderungen erfuhren die Normen für die zulässigen Spannungsschwankungen, die Kontrollintervalle für alle Elektroenergieparameter, die Normen für die erlaubten Abweichungen von der Sinusform der Spannung (Formfaktor) und der Koeffizient der Gegenkomponente. Außerdem wurden rechtliche Fragen präzisiert. Es ist eine Abweichung der Sinusform der Spannung bis zu 5% und eine Größe der Gegenkomponente der Spannung, bezogen auf die Nennspannung, bis zu 2% gestattet. Da in der internationalen Praxis allgemein der Anteil der Oberwellen im Ansteigen begriffen ist, wurde dieser Tendenz Rechnung getragen und das Normenwerk zu jener Problematik erweitert. Die Abweichung der Sinusform des Stromes wurde in der neuen GOST „Elektroenergiequalität" mit 5% begrenzt. Als Novum wird auch die Spannungsabweichung für die Einspeisungen großer Tierproduktionskomplexe mit 5% limitiert. In einem Zusatz sollen noch die Schwankungen des Spannungsphasenwinkels begrenzt werden, weil diese in elektrischen Netzen mit Walzstraßen und Elektroschmelzöfen den 5- bis 6fachen Wert zum Ausgangsphasenwinkel erreichen können. Die Forderungen an die Meßgeräte der Elektroenergiequalität (Genauigkeitsklasse, Eigenfrequenz der Meßgeräte usw.) wurden für die neuen Forderungen an die Elektroenergiequalität aktualisiert.

E. Broßmann, Berlin EA 1573

BUCHER

Statistik für Elektrotechniker

Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik

Von *W. Hauschild* und *W. Mosch*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 1. Auflage. 268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln, 305 Lit. Leinen, 28,— Mark.
Bestell-Nr. 553208 6

Die mathematische Statistik als Mittel für die Beschreibung zufälliger Prozesse hat in der Elektrotechnik seit dem vergangenen Jahrzehnt verstärkt Eingang gefunden und an Bedeutung gewonnen. Es ist daher sehr zu begrüßen, daß mit diesem Buch die Grundlagen und Methoden für ihre Anwendung bei zahlreichen fachspezifischen Problemen der Hochspannungs- und Isoliertechnik, zum Beispiel bei der Vorbereitung, Durchführung, Auswertung und Interpretation von Experimenten oder bei der Bemessung der Isolierungen, systematisch und anschaulich dargestellt und damit einem großen Leserkreis zugängig gemacht werden.

Der erste Hauptteil umfaßt die Grundlagen im Überblick; es werden die wahrscheinlichkeitstheoretischen Grundbegriffe, die Eigenschaften und die für die hochspannungstechnische Praxis wichtigsten Verteilungsfunktionen mit ihren beschreibenden Parametern behandelt und ihre Anwendung an Hand von Beispielen demonstriert. Die Grundzüge der Korrelation und Regression und ausgewählte statistische Testverfahren zur Feststellung der Signifikanz einer angenommenen Verteilung mit grafischen oder rechnerischen Verfahren werden in einer vorzüglich übersichtlichen Weise dargelegt.

Der zweite Hauptteil umfaßt die Planung, Durchführung und Auswertung von Messungen auf statistischer Grundlage, die statistische Bewertung standardisierter Prüfverfahren und die statistische Beschreibung des Isoliervermögens. Hier findet man die Auswahl der Meßverfahren unter Beachtung der elektrischen Beanspruchung der verschiedenen Isolierungen, die Auswahl des Stichprobenumfanges, die Anpassung von Verhaltensfunktionen an theoretische Verteilungsfunktionen, die Gewährleistung der Unabhängigkeit der Versuche und die Verfahren zur Ermittlung ausgewählter Quantile. Die statistische Isolationskoordination verlangt die mathematische Beschreibung des Zusammenhanges zwischen elektrischer Beanspruchung und Stehvermögen der Isolierung (Isoliervermögen) sowie den Nachweis der Nennstehspannungen. Ausführlich wird auf die Verteilungs- und Funktionalparameter des zu erwartenden Verteilungstyps der den Durchschlagsprozeß bestimmenden Zufallsgrößen für grundlegende Elektrodenanordnungen in gasförmigen, flüssigen und festen Isolierstoffen eingegangen und an zahlreichen Beispielen erläutert.

Ein gesonderter Abschnitt ist der Problematik großräumiger Isolierungen aus diskreten Einzelisolierungen oder mit kontinuierlicher Struktur gewidmet, soweit sie das statistische Durchschlagsverhalten betrifft. Hierzu wird die statistische Behandlung der Vergrößerung oder Verkleinerung in Raum oder Zeit dargestellt und für einige theoretische Verteilungsfunktionen angewendet.

Den Verfassern ist es gelungen, gestützt auf reiche Erfahrungen in der experimentellen Hochspannungsforschung und Hochschullehre ein Buch zu schaffen, das die wesentlichsten Grundlagen der mathematischen Statistik vermittelt, zum anderen durch viele praxisnahe Beispiele die Anwendung statistischer Methoden deutlich macht. Es wird in erster Linie den Studierenden der Elektrotechnik und den Fachleuten, die in Forschung, Entwicklung und Prüfung für elektrische Isolierungen, elektrotechnische Betriebsmittel, Anlagen und Netze tätig sind, von großem Nutzen sein, gibt aber darüber hinaus wertvolle Anregungen für alle Fachleute anderer Wissensgebiete, die experimentelles Material auszuwerten haben.

Durch zahlreiche Literaturangaben wird dem Leser die Möglichkeit gegeben, weiter spezialisierte Ausführungen aufzufinden.

H. Koettnitz, Dresden EA 1750

Elektrotechnik · Elektronik

Herausgeber: *H. Gottschalk; M. Lemberg*. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 4., durchgesehene Auflage. 636 S., 850 Bilder, 60 Tafeln. Leinen, 22,— Mark.
Bestell-Nr. 552746 3

Es ist ein „Informationsbuch", das — lt. Zielstellung — sachkundig und leichtverständlich Auskunft geben und Zusammenhänge zeigen will. Es möchte sowohl einen interessierten Leserkreis ansprechen, der keine Ausbildung in einem elektrotechnischen Beruf besitzt und es möchte auch für den Fach- und Hochschulstudenten nützlich sein. Ein allgemeinverständlicher Überblick über die gesamte Elektrotechnik und Elektronik soll gegeben werden. Herausgeber und Verlag ist zu bescheinigen, daß das Vorhaben insgesamt gelungen ist.

Die stoffliche Breite drückt sich in 16 Abschnitten aus: Elektroenergie-Erzeugungs-, -Fortleitungs- und -Verbraucheranlagen; Umformung elektrischer Energie; Elektrische Maschinen; Elektrische Antriebe; Elektrowärmetechnik; Lichttechnik; Elektrochemie; Grundbegriffe der Informationselektrik; Bauelemente der Informationselektrik; Grundschaltungen; Elektrische Meßtechnik; Elektrische Steuerungs- und Regelungstechnik; Datenfernübertragung; -speicherung und -verarbeitung; Funktechnik; Fernsprech- und Fernschreibtechnik; Signalanlagen und andere Fernmeldeanlagen.

Die einzelnen Abschnitte unterscheiden sich verständlicherweise hinsichtlich methodischer Aufbereitung und Detaildarstellung. Gut gelungen sind nach Meinung des Rezensenten die Abschnitte zu Elektrischen Maschinen, Elektrowärmetechnik, Grundbegriffe der Informationstechnik, Bauelemente der Informationstechnik und Grundschaltungen.

Zu vielen Detail-Darstellungen werden die Spezialisten des Fachgebietes sicher unterschiedliche Meinungen äußern — das kann bei einem derartig breit angelegten Buch nicht anders sein.

Erstaunt wird der Leser sein, daß das Buch zwar „Elektrotechnik; Elektronik" heißt, aber in zwei Hauptabschnitte mit anderen Namen unterteilt ist „Leistungselektrik" und „Informationselektrik".

Das wird im Vorwort erläutert und gleich noch ein Begriffspaar zitiert: „elektrische Energietechnik" und „elektrische Informationstechnik". Sicher gibt es genügend Gründe, mal diesen und mal jenen Begriff zu benutzen — für ein Buch mit eingangs formulierter Zielstellung hätte man bei „Elektrotechnik" und „Elektronik" bleiben sollen.

Das Buch schließt mit einem Literaturverzeichnis ab. Es wird empfohlen, bei einer Neuauflage darauf zu achten, vor allem weiterführende moderne Buch-Literatur aufzunehmen, die jedem Leser leicht zugänglich ist, aber Zeitschriften, Dissertationen u. ä. nicht zu zitieren.

Dem Leserkreis der Fachzeitschrift ELEKTRIE ist das Buch sehr zu empfehlen, weil es ermöglicht, sich schnell und bequem Grundwissen aus anderen Fachbereichen anzueignen.

H. Böhme, Dresden EA 1746

Transient Phenomena in Electrical Machines

Von *P. K. Kovacs*. Budapest: Akademieverlag 1984. 390 Seiten

Das in englischer Sprache vorliegende Buch über transiente Erscheinungen in elektrischen Maschinen entspricht einem modernen Trend der Entwicklung auf dem Gebiet der elektrischen Antriebstechnik, wo aufgrund der immer mehr zunehmenden Anforderungen an das dynamische Betriebsverhalten auch theoretische Voraussetzungen zur Beschreibung erforderlich sind. Aufbauend auf dem Buch von *P. K. Kovacs — I. Racz*, Transiente Vorgänge, Bd. 1 und 2, erfolgt zunächst eine Einführung in das mathematische Werkzeug zur Beschreibung der Übergangsvorgänge. Dazu wird der Raumzeigerbegriff und seine Anwendung auf Spannungen, Ströme, Flüsse, auf Ständer- und Läufergrößen sowie die Koordinatentransformation behandelt. Die Spannungsgleichungen und ihre Transformation werden abgeleitet, und schließlich werden das zweiphasige Wicklungsmodell und die Parktransformation vorgestellt. Abschließend erfolgt noch die Darstellung von Drehmomenten.

Im zweiten Abschnitt erfolgt die Anwendung der mathematischen Methoden auf die Drehstrommaschinen in verschiedenen Betriebszuständen, wie z. B. Einschaltvorgänge, Hochlaufvorgänge, sprunghafte Veränderungen des Drehmomentes, Zuschalten auf die Spannungsversorgung, Kurzschlußbeanspruchung, Induktionsmotoren im Regelkreis und schließlich der Einfluß der Sättigung. Zur Beschreibung, insbesondere auch der Einbeziehung in den Regelkreis, werden entsprechende Blockschalter angegeben.

Im dritten Abschnitt werden Synchronmaschinen behandelt. Zu diesem Zweck werden die Gleichungen für den Dauerbetrieb angegeben. Das erfolgt für Vollpol- und Schenkelpolmaschinen. Im weiteren folgen Untersuchungen der Kurzschlußvorgänge und des subtransienten Verhaltens. Weiterhin werden ein- und zweiphasige

Kurzschlußfälle untersucht. Es folgt die Behandlung der beim Kurzschluß auftretenden Drehmomente. Im weiteren werden Stabilitätsfragen betrachtet. Schließlich erfolgen noch Untersuchungen des Schwingungsverhaltens bei kleinen Amplituden und des asynchronen Betriebs von Synchronmaschinen.

Im vierten Abschnitt erfolgt die Untersuchung von nebenschlußerregten Gleichstrommaschinen, wobei auch wieder Hochlaufvorgänge untersucht werden, die Berechnung von Anlaufzeiten erfolgt, der Einfluß verschiedener Lastmomente wird untersucht und schließlich werden Übergangsvorgänge bei veränderlicher Spannung oder veränderlichem Drehmoment oder Erregung untersucht. Auch in diesem Fall werden die regelungstechnischen Betrachtungen eingeführt und durch Signalflußbilder Übergangsvorgänge beschreibbar gemacht.

Das Buch ist durchgängig mathematisch anspruchsvoll, im Text klar und übersichtlich dargestellt, durch zahlreiche Bilder anschaulich untermauert. Es ist Studierenden wie Praktikern zu empfehlen, um sich Wissen anzueignen oder zu rekapitulieren. Das Werk darf mit zur Standardliteratur auf dem Gebiet elektrischer Maschinen gerechnet werden.

Im Anschluß ist ein Literaturverzeichnis mit wesentlichen Fachbüchern angegeben und das übliche Sachwortverzeichnis.

P.-K. Budig, Karl-Marx-Stadt EA 1742

Kinematics

Von *J. S. Beggs*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer Verlag 1983, 223 S.

Dieses Buch stellt eine Einführung in die räumliche Kinematik dar, wobei das Niveau weit über die übliche Lehrbuchliteratur hinausgeht. Die ersten 6 Abschnitte entwickeln die erforderlichen mathematischen Werkzeuge, indem Matrizen, Vektoren und Quaternionen in einer Form eingeführt werden, die durch ihre Kurzschreibweise eigenwillig ist, aber für die Programmierung von Computern passend ist.

Der 7. Abschnitt, der die Hälfte des Buchumfangs ausmacht, illustriert die Anwendung der theoretischen Kinematik auf einen weiten Bereich von Problemen. Es werden bewegte Spiegel positioniert, die Zeit des Sonnenaufgangs berechnet, räumliche Mechanismen, Lenkung eines Traktoranhängers, Verzahnungsmaschinen (Geometrie der Hypoidverzahnung) und andere Anwendungsbeispiele behandelt. Die Dynamik des starren Körpers ist auch enthalten (Eulersche Kreiselgleichungen).

Die Fülle von Beispielen befähigt den Leser, Probleme zu lösen, die mit der Bestimmung der Lage, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung des starren Körpers verbunden sind. Der Band ist eine komplette kompakte und originelle Einführung in die theoretische Kinematik.

Der ausgezeichnete Text ist geeignet für Studenten höherer Semester und Fachleute aus den Gebieten des Maschinenbaus, der Mathematik, Astronomie, Optik und Navigation.

H. Dresig, Karl-Marx-Stadt EA 1691

Abtastregelung

Band I: Analyse und Synthese

Von *J. Ackermann*. Berlin, Heidelberg, Nes York: Springer-Verlag 1983. 2. Auflage, 380 Seiten, 71 Bilder

Das Buch ist eine stark überarbeitete Fassung der 1972 erschienenen einbändigen ersten Auflage des gleichnamigen Werkes. Der Band I ist wie folgt gegliedert: Einführung (16 S.), Kontinuierliche Systeme (57 S.), Modellbildung und Analyse von Abtastsystemen (99 S.), Steuerbarkeit, Wahl der Tastperiode und Polvorgabe (27 S.), Beobachtbarkeit und Beobachter (30 S.), Regelkreissynthese (48 S.) und 3 Anhänge betreffend Kanonische Formen der Zustandsdarstellung (40 S.), Rechenregeln der z-Transformation (22 S.), Stabilität (19 S.) sowie ein (für beide Bände übereinstimmendes) Literaturverzeichnis (16 S.) und ein Sachverzeichnis (5 S.).

Die Darstellung ist sehr übersichtlich und didaktisch so aufbereitet, daß sich auch Leser mit relativ geringfügigen regelungstheoretischen Vorkenntnissen den Inhalt erschließen können. Fast alle Aufgaben- und Problemstellungen werden an dem instruktiven Beispiel einer Verladebrücke erläutert. Das Buch widerspiegelt den modernen Stand der angewandten Theorie linearer Abtast-Regelungssysteme. Weitere Forschungsergebnisse bringt der Band II.

K. Reinschke, Dresden EA 1636a

Abtastregelung

Band II: Entwurf robuster Systeme

Von *J. Ackermann*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1983. 2. Auflage. 200 Seiten, 48 Bilder

Der Band II setzt die im Band I vermittelten Kenntnisse voraus und enthält weitgehend neuere eigene Forschungsergebnisse des Autors. Das Buch ist wie folgt gegliedert: Geometrische Stabilitätsuntersuchung und Polgebiets-Vorgabe (52 S.), Entwurf robuster Regelkreise (61 S.), Mehrgrößensysteme (59 S.).

In dem Werk wird der Entwurf von Regelungssystemen auf Robustheit gegenüber Sensorausfall und endlichen Parameteränderungen erstmals zusammenfassend dargestellt. Dabei wird von Abbildungen zwischen dem Parameterraum der Regelstrecke und dem Raum der Reglerparameter ausgegangen. Anhand von Beispielen wird die praktische Handhabung dieses Entwurfswerkzeuges mit Methoden der Computer-Graphik erläutert. Auch auf die Optimierung von vektoriellen Gütekriterien wird eingegangen. Die Darstellung kulminiert in einer vertieften Behandlung der Steuerbarkeitsstruktur bei Mehrgrößensystemen. Die von *J. Ackermann* eingeführten „Sequenzen endlicher Wirkungsdauer" und die „charakteristischen Matrizen" liefern eine wichtige ingenieurgemäße Ergänzung der Invariantentheorie von *Brunovsky* und *Popov*.

Trotz der anspruchsvollen Thematik ist der Band aufgrund der Art der Darstellung und systemtatisch eingestreuter Beispiele auch für Ingenieure, soweit sie der Theorie aufgeschlossen gegenüberstehen, gut lesbar.

K. Reinschke, Dresden EA 1636b

Halbleiter-Technologie

Von *I. Ruge*. Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer-Verlag 1984. 2. Auflage. 404 Seiten, 218 Abbildungen

Die Verfahren der Halbleitertechnologie sind heute nicht nur die Grundlage für die Herstellung einzelner Halbleiterbauelemente, sondern auch und insbesondere für die Realisierung hoch- und höchstintegrierter mikroelektronischer Schaltkreise (LSI, VLSI).

Obwohl seit dem Erscheinen der ersten Auflage vor 9 Jahren auf diesem Gebiet eine stürmische Entwicklung vollzogen wurde, hat sich das Basiswissen nur wenig geändert. Da dieses Buch in erster Linie ein einfacher Einführungskursus in das umfangreiche und weitverzweigte Gebiet der Halbleitertechnologie darstellt, konnte der Inhalt gegenüber der ersten Auflage in weiten Teilen unverändert gelassen werden. Besondere Verfahren, die die VLSI-Technik erfordert, und neue Lithografieverfahren wurden stärker hervorgehoben.

Die ersten drei Abschnitte beschäftigten sich mit Kristallen und deren Herstellung, die für die Halbleiterelektronik besonders wichtig sind, einschließlich der Epitaxie.

Der 4. Abschnitt behandelt sehr ausführlich die wichtigsten Dotierungsverfahren (Legierung, Diffusion, Ionenimplantation). Die grundlegenden analytischen Gesetze werden angegeben, was auch für Modelle der Prozeßsimulation von Wichtigkeit ist.

Der 5. Abschnitt über Metall-Halbleiter-Kontakte enthält viele praktische Anhaltspunkte über die gezielte Wahl von Struktur- und Prozeßparametern zur Realisierung von ohmschen und Schottky-Kontakten.

Einen breiten Raum nehmen physikalische und elektronische Meßverfahren zur Ermittlung von Halbleiterparametern (Leitfähigkeit und -typ, Konzentration. Lebensdauer, Beweglichkeit, Kristallparameter) im Abschnitt 6. ein.

Im Abschnitt 8. über Plenartechnologie werden alle praktischen Gesichtspunkte bei der Herstellung moderner Halbleiterstrukturen (Maskierung, Isolierschichten,Lithografie, Ätzen, Metallisierung) zusammengefaßt und an Beispielen demonstriert. Diese Ausführungen werden in 2 weiteren Abschnitten für spezielle MOS- und Bipolarschaltkreistechnologien noch ergänzt, wobei Beschränkung auf nunmehr schon klassisch zu nennende Strukturen erfolgt. Auch ein Abschnitt über Montagetechnologie fehlt nicht.

Das Buch ist in einer einfachen, durch wenig analytische Abhandlungen belasteten Sprache geschrieben. Es ist damit als Lehrbuch gut geeignet. Für Physiker und Chemiker wird es besonders auch dadurch wertvoll, weil es zahlreiches praktisch nützliches Zahlenmaterial enthält.

A. Möschwitzer, Dresden EA 1732

Валов, Б. М.; Винклер, Г.: **Нормирование качества электроэнергии в СССР**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 284—286, 2 рис., 2 табл., 4 уравн., 10 лит.

Понижение качества электроэнергии причиняет электромагнитные и технологические ущербы, экономическая оценка которых производится при помощи ущербо-стоимостной функции. В целях сокращения данного ущерба и мешающих воздействий в СССР в 1967 г. были установлены предельные значения. Приводятся и сравниваются допустимые значения качественных факторов, даются указания на счет контроля.

Круг, Х.: **Система аварийной сигнализации синхроциклотрона на ВИК в г. Дубна (СССР)**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 286—290, 9 рис., 5 лит.

Между отдельными параметрами ускорителя существуют сложные взаимосвязи, подлежащие постоянному наблюдению с целью заблаговременного опознавания отклонений от заданных предельных значений и избежания возникновения аварийных ситуаий. Представляется необходимая для этой цели система аварийной сигнализации.

Энгелаге, Д.; Проске, Д.; Клар, Х.; Щпангенберг, П.: **Двунаправленная передача сигналов по световодам между микро-ЭВМ и электроэнергетическими установками**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 290—292, 7 рис., 6 уравн.

В электроэнергетических установках придется передавать как измерительные значения из области установки, так и команды управления и регулировки в обратном направлении. При реализации передачи сигналов между микро-ЭВМ с помощью световодов, по экономическим соображениям в данное время используются предпочтительно последовательные способы передачи. Представляется техническое решение.

Дёлер, А.; Нергер, Д.: **Влияние заземления нейтрального провода на мачтах из предварительно напряженного железобетона на напряжение погрешности в низковольтной сети**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 292—296, 11 рис., 2 табл., 18 уравн., 14 лит.

При помощи цифровой программы по расчету распределения тока в цепных линиях определяются характеристики напряжения погрешности в воздушной низковольтной сети при подключении нейтрального провода к каждому фундаментному заземлителю мачт. Изучаются влияния на напряжение погрешности.

Шнайдер, К.-Г.; Фрайтаг, К.-Х.: **Количественное определение уровня защиты защитной меры зануления в промышленных установках 220/380 В**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 296—298, 7 рис., 2 табл., 5 лит.

Основываясь на измерениях величины и распределения напряжений прикосновения, проведенных на 5 промышленных предприятиях, в статье рассматривается эффективность часто применяемой защитной меры зануления в части достигнутой защиты человека от опасного протекания тока в случае замыкания на корпус.

Шульц, В.: **Учет сетевых подводов в расчетах тока короткого замыкания**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 299—301, 5 рис., 1 табл., 16 уравн., 3 лит.

Предшествующие сети передачи или распределения в исследованиях короткого замыкания изображаются при помощи эквивалентных реактансов, которые могут определяться из мощностей короткого замыкания на пунктах подключения. В случае специальных конфигураций сети и условий эксплуатации для симуляции сетевых подводов требуются определенные, ориентированные на данную проблему согласования с тем, чтобы стандартизованный расчет короткого замыкания дал правильные результаты.

Франке, Р.; Мюллер, Р.; Риндфлайш, Х.-Й.: **Свойства трансформаторных вводов с неметаллическими управляющими электродами при воздействии импульсных атмосферных напряжений и напряжений включения**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 302—305, 11 рис., 22 уравн., 7 лит.

Предметом работы является моделирование и расчет электрических свойств высоковольтных вводов с неметаллическими управляюими электродами при воздействии импульсных атмосферных напряжений и напряжений включения.

Брэзель, Э.; Пыль, Т.: **Исследования по газоаналитической диагностике трансформаторов**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 306—308, 1 рис., 3 табл., 2 уравн., 12 лит.

Профилактическая диагностика трансформаторов при помощи анализа содержащегося в масле газа требует определенных знаний в области возникновения и распределения газа разложения в трансформаторе. На основе экспериментальных результатов и рассмотрения балансного уравнения распределения газа разложения делаются выводы для профилактической диагностики.

Куллиг, П.; Петцольд, И.: **По долговременным электрическим свойствам полиэтиленовых изоляций при нагрузке переменным напряжением**

ELEKTRIE, Берлин 38 (1984) 8, стр. 309—311, 4 рис., 11 лит.

На надежность полиэтиленовых изоляций, в первую очередь оказывают влияние неисправные места материала (загрязнения, полости и др.). Исследования скорости распространения каналов частичного разряда на изоляционных моделях (по схеме игла-пластина) показали, что срок службы средневольтных и высоковольтных кабелей с полиэтиленовой изоляцией в значительной мере определяется продолжительностью времени до зажигания первого канала частичного разряда.

Valov, B. M.; Winkler, G.: **The Normalization of the Quality of the Electric Energy in the USSR**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 284—286, 2 Figs., 2 Tables, 4 Equations, 10 Refs.

The reduction of the quality of the electric energy causes electromagnetic technological damages, the economical evaluation of which is made by means of the damage cost function. To the reduction of that damage and the defect effects maximum permissible values were stated in the USSR. The reliable values of the quality factors were presented and compared one with another, and hints dapted to supervision are given,

---

Krug, H.: **The Alarm System of the Synchron-Cyclotron in the VIK of Dubna (USSR)**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 286—290, 9 Figs., 5 Refs.

Between the parameters of the accelerator are existing complicated connections, which must be observed continuously, to discern in time deviations of the predetermined maximum permissible values and to prevent damage situations. The necessary alarm system is represented.

Engelage, D.; Proske, D.; Klar, H.; Spangenberg, P.: **Bidirectional Light Guide-Signal Transmission between Microcomputers in Electric Energy Plants**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 290—292, 7 Figs., 6 Equations

In electric energy plants both measuring values of the plant area and control and regulation commands have to be transmitted in contrary directions. To the realization of the signal transmission between microcomputers by means of light conductors at present serial transmission methods are used primarily because of economical reasons. A technical solution is represented.

Döhler, A.; Nerger, D.: **Influence of the Earthing of the Neutral Conductor at Prestressed Concrete Masts on the Fault Voltage in the Low-Voltage Network**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 292—296, 11 Figs., 2 Tables, 18 Equations, 14 Refs.

By means of a digital programme for computing the current distributions in chain conductors the fault voltage curves in low-voltage overhead transmission lines during connection of the neutral conductor with each of the mast foundation earth leads are determined. Influences on the fault voltage are studied.

Schneider, K.-G.; Freytag, K.-H.: **Quantitative Determination of the Protecting Level of the Protecting Measure Earthing in 220/380 V Industrial Plants**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 296—298, 7 Figs., 2 Tables, 5 Refs.

In this paper on base of measurements to the height and distribution of contact voltages in 5 industrial factories the efficiency of the protecting measure earthing, often used, with regard to the reached protection of the men against dangerous electric seepages during body contact is considered.

Schulz, W.: **Consideration of Network Supplies during Short-Circuit Current Computations**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 299—301, 5 Figs., 1 Table, 16 Equations, 3 Refs.

Prearranged transmission and distribution networks are illustrated in short-circuit studies through equivalent reactances, which may be determined from the short-circuit powers at the connecting points. In special network constellations and operating conditions to the simulation of network supplies determined matchings, oriented to the problems, are necessary, in order to safeguard, that the standardized short-circuit current computation leads to correct results.

Franke, R.; Müller, R.; Rindfleisch, H.-J.: **Behaviour of Transformer Bushings with Non-Metallic Control Electrodes during Lightning and Switching Coltage Loads**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 302—305, 11 Figs., 22 Equations, 7 Refs.

The object of this paper is the modelling and the computation of the electric behaviour of high-voltage bushings with non-metallic control electrodes during loading through lightning and switching voltages.

Brüsel, E.; Pyl, Th.: **Studies to the Gas-Analytical Transformer Diagnosis**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 306—308, 1 Fig., 3 Tables, 2 Equations, 12 Refs.

The prophylactic transformer diagnosis by means of the analysis of the gas, solved in the oil, needs some knowledges about development and distribution of the decomposition gas in the transformer. From experimental results and the discussion of a balance equation of the distribution of the decomposition gas conclusions are derived, adapted to the prophylactic diagnosis.

Küllig, P.; Petzold, I.: **To the Electric Long-Time Behaviour of Polyethylene-Insulations during A. C. Loads**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, pp. 309—311, 4 Figs., 11 Refs.

The reliability of PE-insulations is influenced predominantly through fault points (impurities, cavities etc.) within the material. Studies at model insulations (needle-plate arrangements) to the propagation velocity of TE-channels pointed out, that the life of PE-medium and high-voltage cables is determined, essentially, through the time, needed to the ignition of a first TE-channel.

Valov, B. M.; Winkler, G.: **Die Normierung der Elektroenergiequalität in der UdSSR**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 284 – 286, 2 Bilder, 2 Tafeln, 4 Gleichungen, 10 Lit.

Die Verringerung der Elektroenergiequalität verursacht elektromagnetische und technologische Schäden, deren ökonomische Bewertung mit der Schadenskostenfunktion vorgenommen wird. Zur Verminderung dieses Schadens und der Störwirkungen wurden 1967 in der UdSSR Grenzwerte festgelegt. Die zulässigen Werte der Qualitätsfaktoren werden aufgeführt und verglichen sowie Hinweise zur Überwachung gegeben.

Krug, H.: **Das Alarmsystem des Synchrozyklotrons im VTK Dubna (UdSSR)**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 286 – 290, 9 Bilder, 5 Lit.

Zwischen den Parametern des Beschleunigers bestehen komplizierte Zusammenhänge, die laufend beobachtet werden müssen, um Abweichungen von den vorgegebenen Grenzwerten rechtzeitig zu erkennen und Havariesituationen zu verhindern. Das dazu erforderliche Alarmsystem wird vorgestellt.

Engelage, D.; Proske, D.; Klar, H.; Spangenberg, P.: **Bidirektionale Lichtleitsignalübertragung zwischen Mikrorechnern in Elektroenergieanlagen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 290 – 292, 7 Bilder, 6 Gln.

In Elektroenergieanlagen sind sowohl Meßwerte aus dem Anlagenbereich als auch Steuer- und Regelbefehle in entgegengesetzter Richtung zu übertragen. Zur Realisierung der Signalübertragung zwischen Mikrorechnern mittels Lichtleitern werden aus ökonomischen Gründen zur Zeit vor allem serielle Übertragungsverfahren eingesetzt. Eine technische Lösung wird vorgestellt.

Döhler, A.; Nerger, D.: **Einfluß der Erdung des Nulleiters an Spannbetonmasten auf die Fehlerspannung im Niederspannungsnetz**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 292 – 295, 11 Bilder, 2 Tafeln, 18 Gln., 14 Lit.

Mit Hilfe eines digitalen Programmes zur Berechnung der Stromverteilung in Kettenleitern werden die Fehlerspannungsverläufe in Niederspannungs-Freileitungsnetzen bei Anschluß des Nulleiters an jedem Mastfundamenterder ermittelt. Einflüsse auf die Fehlerspannung werden untersucht.

Schneider, K.-G.; Freytag, K.-H.: **Quantitative Bestimmung des Schutzniveaus der Schutzmaßnahme Nullung in 200/380-V-Industrieanlagen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 296 – 298, 7 Bilder, 2 Tafeln, 5 Lit.

Im Beitrag wird auf der Grundlage von Messungen zur Höhe und Verteilung von Berührungsspannungen in 5 Industriebetrieben die Wirksamkeit der häufig angewandten Schutzmaßnahme Nullung hinsichtlich des erzielten Schutzes des Menschen vor gefährlichen elektrischen Durchströmungen bei Körperschluß betrachtet.

Schulz, W.: **Berücksichtigung von Netzeinspeisungen bei Kurzschlußstromberechnungen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 3, S. 299 – 301, 5 Bilder, 1 Tafel, 16 Gln., 3 Lit.

Vorgeordnete Übertragungs- oder Verteilungsnetze werden bei Kurzschlußuntersuchungen durch Ersatzreaktanzen dargestellt, die sich aus den Kurzschlußleistungen an den Anschlußstellen ermitteln lassen. Bei speziellen Netzkonstellationen und Betriebsbedingungen sind für die Nachbildung von Netzeinspeisungen bestimmte, problemorientierte Anpassungen erforderlich, damit die standardisierte Kurzschlußstromberechnung zu richtigen Ergebnissen führt.

Franke, R.; Müller, R.; Rindfleisch, H.-J.: **Verhalten von Transformatordurchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden bei Blitz- und Schaltspannungsbeanspruchungen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 302 – 305, 11 Bilder, 22 Gln., 7 Lit.

Gegenstand der Arbeit ist die Modellierung und die Berechnung des elektrischen Verhaltens von Hochspannungsdurchführungen mit nichtmetallischen Steuerelektroden bei Beanspruchung mit Blitz- und Schaltspannungen.

Bräsel, E.; Pyl, Th.: **Untersuchungen zur gasanalytischen Transformatordiagnostik**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 306 – 308, 1 Bild, 3 Tafeln, 2 Gln., 12 Lit.

Die prophylaktische Transformatorendiagnostik anhand der Analyse des im Öl gelösten Gases erfordert Kenntnisse zur Entstehung und Verteilung des Zersetzungsgases im Transformator. Aus experimentellen Ergebnissen und der Diskussion einer Bilanzgleichung für die Zersetzungsgasverteilung werden Schlußfolgerungen für die prophylaktische Diagnostik gezogen.

Küllig, P.; Petzold, I.: **Zum elektrischen Langzeitverhalten von Polyethylen-Isolierungen bei Wechselspannungsbelastungen**

ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 8, S. 309 – 311, 4 Bilder, 11 Lit.

Die Zuverlässigkeit von PE-Isolierungen wird dominierend von Fehlstellen (Verunreinigungen, Hohlräume u.a.) im Material beeinflußt. Untersuchungen an Modellisolierungen (Nadel-Platte-Anordnungen) zur Ausbreitungsgeschwindigkeit von TE-Kanälen zeigten, daß die Lebensdauer von PE-Mittel- und Hochspannungskabeln im wesentlichen von der Zeit bis zum Zünden eines ersten TE-Kanals bestimmt wird.

Herausgeber	Kammer der Technik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl. oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dipl.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Dipl.-Ing. *Wolfgang Rönspieß*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandpreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf 7122 Borsdorf
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157, Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS — Ústrédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohardská 41, 125 05 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tiače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knijiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publictions Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei si Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucuresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

VEM-Handbuch

Elektroenergieanlagen Anlagentechnik

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Prof. Dr. sc. techn. Volkmar Pfeiler. Herausgegeben vom Institut für Elektro-Anlagen (IEA), Berlin. 1. Auflage. 448 Seiten, 262 Bilder, 103 Tafeln, Kunstleder, 40,— M, Ausland 52,— M. Bestellangaben: 5527180/VEM Handb. Anlagentechnik

In anwendungsbereiter Form werden Fragen behandelt, die bei der Entwicklung, Projektierung, Konstruktion und Errichtung von Elektroenergieanlagen zu beachten sind. Von den Grundaufgaben der Anlagengestaltung und den Berechnungsverfahren ausgehend wird das Zusammenfügen der Anlagenteile zu einem technischen System erläutert. Die Darstellung der auf einheitliche Grundlagen bezogenen Auswahl der Anlagenteile und Teilanlagen sowie der Stationsgestaltung einschließlich der Prüfung und Inbetriebsetzung wird wesentlich zur Angleichung verschiedener Methoden und Verfahren der Anlagengestaltung beitragen.

VEM-Handbuch

Elektroenergieanlagen Anlagenteile

Von einem Autorenkollektiv unter Leitung von Prof. Dr. sc. techn. Volkmar Pfeiler. Herausgegeben vom Institut für Elektro-Anlagen (IEA), Berlin. 3., stark bearbeitete Auflage. 504 Seiten, 378 Bilder, 135 Tafeln, Kunstleder, 44,— M, Ausland 65,— M. Bestellangaben: 5530638/VEM Anlagenteile

Ausgehend von den Anforderungen der Planung, Projektierung, Errichtung und des Betriebs werden die hauptsächlichen in Elektroenergieanlagen eingesetzten Anlagenteile beschrieben. Es sind u.a. enthalten: Bauelemente, Baugruppen und Einrichtungen der Leistungselektronik, Schaltgeräte, Transformatoren, Drosseln und Motoren, Steuer- und Signalgeräte, Geräte und Einrichtungen der Meß-, Automatisierungs- und Relaisschutztechnik, Starkstromkabel und -garnituren, Starkstrom- und Fernmeldeleitungen, Isolatoren, Isolierelemente und Armaturen.
Bei der Bearbeitung wurde der neueste Stand berücksichtigt.

Grundlagen der Elektrotechnik

Band 2: Wechselspannungstechnik

Lehrbuch für Ingenieurschulen der Elektrotechnik

Von Dipl.-Ing. Hermann Grafe und einem Autorenkollektiv. Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR. 9., bearbeitete Auflage. 332 Seiten, 388 Bilder, 18 Tafeln, Kunstleder, 24,— M, Ausland 28,— M. Bestellangaben: 5532043/Grafe, Grundlagen 2

In dieser Auflage wurden einige inzwischen verabschiedete neue Standards eingearbeitet.
Hauptabschnitte: Einführung · Verhalten der Schaltelemente bei sinusförmiger Wechselspannung · Schaltelemente im Wechselstromkreis · Symbolische Berechnung von Wechselstromkreisen · Energie und Leistung im Wechselstromkreis · Ortskurven · Technische Schaltelemente · Einführung in die Vierpoltheorie · Dreiphasensystem · Stromkreise mit nichtsinusförmigen Spannungen und Strömen · Schaltvorgänge bei Gleich- und Wechselstrom · Lösungen zu den Aufgaben und Übungen.

Angewandte Anlagenautomatisierung

Regelung thermischer Prozesse

Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Teichmann. 1. Auflage. 268 Seiten, 303 Bilder, 19 Tafeln, Leinen, 28,— M, Ausland 38,— M. Bestellangaben: 5531913/Teichmann, Anlagen

Betriebsweise, Betriebsverhalten sowie die Gestaltung technologischer Anlagen haben einen direkten Einfluß auf notwendige Regelungskonzeptionen. Am Beispiel von Dampferzeugern, Dampfturbinen, Sammelschienen- und Blockkraftwerken sowie von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen werden die Zusammenhänge zwischen dem statischen und dynamischen Verhalten wärmetechnischer Prozesse und den Aufwendungen für erforderliche Regelungseinrichtungen dargestellt. Besondere Aufmerksamkeit wird dem Übergangsverhalten der jeweiligen Regelstrecken und den in der Praxis häufig angewendeten Regelungsverfahren gewidmet. Ein notwendiges Buch besonders in Hinblick auf die rationelle Nutzung von Primärenergieträgern.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013 — 5399
ELEKTRIE · Berlin 38 (1984) 8 · S. 281 — 320

6730 8 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 C136 PF

Neuerscheinungen und Neuauflagen

Selbstorganisation von Vorhersagemodellen

Von Prof. Dr. d. techn. Wiss. A. G. Ivachnenko und Doz. Dr. sc. oec. Johann-Adolf Müller. 1. Auflage. 272 Seiten, 72 Bilder, 44 Tafeln, Kunstleder, 36,— M. Bestellangaben: 553352 1/Ivachnenko, Vorhersage

Eine systematische Darstellung der Prinzipien und Algorithmen der Selbstorganisation mathematischer Modelle auf der EDVA. Für alle auf die Systemforschung orientierten Fachleute, die sich für die Ermittlung von Vorhersagen bei ungenügender A-priori-Information interessieren.

Hauptabschnitte: Mathematische Vorhersageverfahren · Grundprinzipien der Selbstorganisation · Identifikation und kurzfristige Vorhersage auf der Grundlage der Selbstorganisation · Selbstorganisation von Modellen zur mittel- und langfristigen Vorhersage · Rechentechnische Realisierung · Übersicht: Beispiele einzelwissenschaftlicher Vorhersageaufgaben.

Mikrorechner

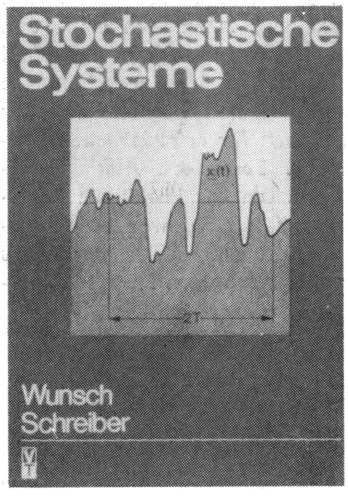
Wirkungsweise, Programmierung, Applikation

Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Schwarz, Prof. Dr. sc. techn. Gernot Meyer und Prof. Dr. sc. techn. Dietrich Eckhardt. 3., stark bearbeitete Auflage. 360 Seiten, 318 Bilder, 22 Tafeln, Kunstleder, 32,— M, Ausland 36,— M. Bestellangaben: 5531980/Schwarz, Mikrorechner

Die Auflage ist modernisiert worden. Wesentlich erweitert wurde der Abschnitt über höhere Programmiersprachen; der Anhang wurde als Arbeitsmaterial für den Mikrorechneranwender völlig neu gestaltet.

Grundlagen der Elektrotechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. Dr. techn. h. c. Eugen Philippow. Hochschullehrbuch. 7., durchgesehene Auflage. 984 Seiten, 674 Bilder, 11 Tabellen, Leinen, 51,— M, Ausland 58,— M. Bestellangaben: 5529434/Phillippow, Elektrotechnik.



Stochastische Systeme

Grundlagen

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Wunsch und Dr. sc. techn. Helmut Schreiber. Hochschullehrbuch. 1. Auflage. 176 Seiten, 110 Bilder, Leinen, 13,— M, Ausland 25,— M. Bestellangaben: 5533257/Wunsch, Stochast. Systeme

Das Buch führt in knapper Darstellungsweise in die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein, legt die Theorie zufälliger Prozesse dar und wendet sie auf die Informationstechnik an. In zahlreichen Übungsaufgaben werden die praxisbezogenen Darlegungen vertieft und weitergeführt.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN